



**Anabela Gonçalves
Pires**

Volatilidade dos Preços do CO₂



**Anabela Gonçalves
Pires**

Volatilidade dos Preços do CO₂

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Economia, realizada sob a orientação científica da Doutora Mara Teresa da Silva Madaleno, Professora Auxiliar Convidada do Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial da Universidade de Aveiro

Dedico este trabalho aos meus pais pelo apoio incondicional.

o júri

presidente

Prof. Doutor António Miguel Amoedo Lebre de Freitas
professor auxiliar da Universidade de Aveiro

Prof. Doutora Elisabete Fátima Simões Vieira
professora adjunta da Universidade de Aveiro

Doutora Mara Teresa da Silva Madaleno
professora auxiliar convidada da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Aos meus pais pela energia positiva que me transmitiram ao longo do meu percurso e por me perdoarem as longas ausências.

Ao meu irmão que me incentivou e esteve sempre comigo no longo processo de seleção dos anúncios. Ao meu amigo Hugo pelas longas explicações das reações químicas e pela sua companhia nas pausas dos múltiplos cafés.

Agradeço em especial à Prof. Dra. Mara Madaleno pela disponibilidade, pelo apoio e motivação que me foi dando ao longo de todo o trabalho.

palavras-chave

Volatilidade; Preços; CO₂; Determinantes

resumo

O estudo da volatilidade do preço do carbono é fundamental tendo em vista que o comportamento desta acarreta implicações nas decisões de investimento dos agentes no mercado.

A volatilidade foi modelizada através do modelo GARCH (1,1) tendo-se verificado a existência de fenómenos “clusters” de volatilidade. A incapacidade dos modelos de variância condicionada usados neste trabalho de explicar as causas da volatilidade criou a necessidade de verificar se as variáveis consideradas pela literatura existente são de facto determinantes da instabilidade no mercado do carbono através de regressões.

Este estudo contribuiu para a investigação existente pela análise que faz da reação do mercado aos anúncios de regulamentações, legislação e outros anúncios relevantes como a corrupção e furto de licenças de emissão.

keywords

Volatility; Prices; CO₂; Determinants

abstract

The volatility study of carbon prices is fundamental if we take into account that its behaviour has consequences over investment decisions of market agents. Volatility has been modelled through the GARCH (1,1) model and it has been verified the existence of volatility clusters phenomenon. The incapacity of the conditional variance models, used in this work, in explaining volatility causes have created the need to verify if the considered variables by previous literature are in fact determinants of the carbon market instability through regressions. This study contributes to the existent literature by analysis performed to the market reaction to regulation, legislation and other relevant announcements like corruption and steal of emission rights.

Índice

Índice	i
Índice de Tabelas	ii
Índice de Gráficos	ii
Índice de Ilustrações	iii
Siglas e Abreviaturas	iv
Capítulo I.....	1
1.1 Introdução.....	1
1.2 Análise do Mercado de Carbono.....	2
Capítulo II	5
2.1 Revisão da Literatura	5
Capítulo III	11
3.1 Dados.....	11
3.2 Anúncios.....	12
Capítulo IV	15
4.1 Metodologia.....	15
4.2 Modelo ARCH.....	15
4.2.1 Efeitos ARCH	16
4.3 Modelo GARCH	16
4.4 Modelo EGARCH.....	16
4.5 Modelos GARCH com K variáveis explicativas	17
Capítulo V	19
5.1 Análise Empírica e Discussão de Resultados	19
Capítulo VI.....	31
6.1 Conclusão	31
Bibliografia.....	33
Anexos	37

Índice de Tabelas

Tabela 1: Síntese do modelo GARCH (1,1).....	20
Tabela 2: Síntese do modelo EGARCH (1,1).....	22
Tabela 3: Medidas da qualidade de previsão.....	23
Tabela 4: Comparação dos modelos das determinantes da volatilidade do preço das licenças de carbono.....	25
Tabela 5: Síntese da estimação do modelo GARCH (1,1) para a fase I e fase II	26
Tabela 6: Síntese dos modelos das determinantes (Fase I e II)	28
Tabela 7: Estimação do modelo GARCH (1,1)	37
Tabela 8: ARCH Teste	38
Tabela 9: Estimação do modelo EGARCH (1,1).....	39
Tabela 10: Estimação do modelo ARCH(1;1).....	40
Tabela 11: Preço das commodities como fatores explicativos	41
Tabela 12: Anúncios como fatores explicativos	42
Tabela 13: Clima como fator explicativo	43
Tabela 14: GARCH com todas as variáveis explicativas	44
Tabela 15: Modelo GARCH (1,1) - Fase I.....	45
Tabela 16: EGARCH (1,1) - Fase I	46
Tabela 17: ARCH teste - Fase I.....	47
Tabela 18: Preço das commodities como fatores explicativos - Fase I.....	48
Tabela 19: Anúncios como fatores explicativos - Fase I.....	49
Tabela 20: Clima como fator explicativo - Fase I.....	50
Tabela 21: GARCH com todas as variáveis explicativas - Fase I	51
Tabela 22: GARCH (1,1) – Fase II.....	52
Tabela 23: ARCH teste – Fase II.....	53
Tabela 24: EGARCH	54
Tabela 25: Preço das commodities como fatores explicativos - Fase II.....	55
Tabela 26: Anúncios como fatores explicativos - Fase II	56
Tabela 27: Clima como fator explicativo - Fase II	57
Tabela 28: GARCH com todas as variáveis explicativas - Fase II	58

Índice de Gráficos

Gráfico 1: Comportamento da série diferenciada dos preços spot das EUA	19
Gráfico 2: Forecast do EGARCH (1,1) e do GARCH (1,1), respetivamente	23
Gráfico 3: Comportamento das séries diferenciadas dos preços do gás natural, petróleo e carvão ..	24
Gráfico 4: Comportamento da série diferenciada dos preços do carbono na fase I e na fase II	25
Gráfico 5: Previsão da volatilidade considerando a primeira fase	27
Gráfico 6: Forecast EGARCH (1,1).....	59
Gráfico 7: Forecast GARCH (1,1).....	60
Gráfico 8: Forecast DEUA - Fase II	61

Índice de Ilustrações

Ilustração 1: Histograma da série DEUA	20
Ilustração 2: Histograma de normalidade.....	21
Ilustração 3: Correlograma da DEUA.....	62
Ilustração 4: Q-statistic	63
Ilustração 5: Correlograma do quadrado dos resíduos standardizados	64
Ilustração 6: Histograma da série diferenciada - Fase I	65
Ilustração 7: Correlograma da série diferenciada EUA - Fase I	66
Ilustração 8: Q-teste - Fase I.....	67
Ilustração 9: Histograma do modelo garch (1,1) - Fase I.....	68
Ilustração 10: Histograma da série diferenciada - Fase II	68
Ilustração 11: Correlograma da serie diferenciada – Fase II	69
Ilustração 12: Q-teste – Fase II.....	70
Ilustração 13: Histograma do modelo GARCH (1,1) – Fase II	71

Siglas e Abreviaturas

ACF - Autocorrelation Function
ARA – Antuérpia/ Roterdão/ Amesterdão
CDM – Clean Development Mechanism
CCS - Carbon Dioxide Capture and Storage
CERs – Certificados de Redução de Emissões
CO₂ – Dióxido de Carbono
ECX – European Climate Exchange
EEX – European Energy Exchange
ERUs – Unidades de Redução de Emissão
EU – União Europeia
EUA - European Union Allowance
EU-ETS – European Union Emission Trading Scheme
EXAA – Energy Exchange Austria
ICE – Intercontinental Exchange
iid – Independentes e Identicamente Distribuídas
JI – Joint Implementation
LM – Langrange Multiplier
MAC – Custos Marginais de Abatimento
MACCs – Curvas de Custos Marginais de Abatimento
MAE – Mean Absolute Error
MAPE – Mean Absolute Percent Error
NAP – National Allocation Plan
NPV – Net Present Value
OTC – Over the Counter
PACF – Partial Autocorrelation Function
RMSE – Root Mean Squared Error
UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change
VAR – Value-at-risk

Capítulo I

1.1 Introdução

O protocolo de Quioto foi acordado em 1997 no qual os países desenvolvidos se comprometeram a reduzir pelo menos 5% dos seus níveis de emissão de gases de estufa relativamente aos valores registados em 1990.

A União Europeia (UE) e outros países europeus assinaram o protocolo de Quioto, mas as metas propostas por estas nações são muito mais ambiciosas do que o acordado, tendo fixado que a redução deverá ser de 20% em 2020 relativamente aos valores de dióxido de carbono na atmosfera verificados em 1990.

O mercado do dióxido de carbono (CO₂) foi um instrumento criado com o propósito de se alcançar esta meta ao menor custo possível e incentivar os países europeus a investir em tecnologias alternativas que utilizam fontes energéticas renováveis e com resíduos inofensivos ou com reduzido impacto no meio ambiente. Sendo por isso a pedra basilar que irá permitir à UE reduzir as emissões acima da meta do protocolo de Quioto ao custo de 0,1% do PIB, significativamente abaixo de qualquer outra opção.

O carbono transforma-se deste modo numa commodity no século XXI. Porém não é uma commodity normal. Na maioria dos mercados a quantidade transacionada não requer um limite por parte dos regulamentadores e cuja abundância pode ser benéfica para o bem-estar social. Porém, no mercado de CO₂ a quantidade é regulamentada e há sempre um limite máximo de produto em circulação, sendo este limite corrigido em cada fase.

A forma de transação dá-se através de direitos de emissão, semelhante ao que ocorre nos direitos de propriedade. Quando o mercado em si num determinado período produziu mais emissões do que o total de licenças de emissão desencadeia-se um processo de sanções para as nações incumpridoras. Este mecanismo inibe o incumprimento das normas estabelecidas e incentiva ao comércio entre os agentes envolvidos no mercado.

O preço do carbono será um fator importante para o sucesso deste mercado, traduzindo o comportamento dos agentes. O preço desta commodity está dependente do comportamento do preço de outras commodities e de outros mercados, uma vez que o CO₂ é um dos resíduos provenientes da produção de outros mercados, nomeadamente, do recurso a fontes energéticas fósseis, a indústria cimenteira, as transportadoras, entre outras.

As variáveis explicativas do preço das licenças são múltiplas e apresentando na sua maioria volatilidades de preços elevadas. Como tal é expectável que o preço do CO₂ apresente variações abruptas, que nada contribuem para a credibilização do mercado, e por conseguinte poderá estar em causa a existência deste mercado no final de 2020.

A regularização do mercado deverá ser conduzida para a estabilização do mesmo e apesar do mercado operar com derivados (essencialmente futuros e opções) não tem sido suficiente para o harmonizar.

O presente estudo preocupa-se com o comportamento dos preços spot no mercado alemão comprovando a existência efetiva de fenómenos de volatilidade através de modelos autorregressivos de variância condicionada. Além disso será efetuado um teste a várias determinantes potenciais de modo a verificar quais as causas do ruído existente nos preços do carbono, sendo que os principais fatores apontados por muitos estudiosos são os preços da energia, do petróleo, do carvão e do gás natural, bem como as temperaturas extremas, entre outras variáveis macroeconómicas. O estudo realizado focou-se nas variáveis cuja frequência é diária, como os preços supracitados, as temperaturas verificadas em Berlim e destaca-se dos demais estudos pela introdução dos anúncios relativos ao mercado do carbono como fatores explicativos. Por fim, tornou-se importante verificar se ocorreu evolução entre as fases bem como verificar se o modelo tem capacidade de previsão adequada.

A realização deste estudo permitiu verificar a existência de “clusters” de volatilidade em ambas as fases, sendo que as principais causas apontadas são o preço do gás natural, as temperaturas extremas e os anúncios que têm impacto no National Allowance Plane (NAP) II e III quando analisados em modelos exclusivos de cada grupo de variáveis explicativas.

No capítulo I é apresentado as bases do estudo da volatilidade do preço do CO₂, nomeadamente a problemática envolvida e os processos do estudo que vão de encontro com a resolução da mesma. Neste capítulo foi elaborada ainda uma breve apresentação do mercado do CO₂. O capítulo II reflete os estudos elaborados até então por outros investigadores e que vão de encontro ao trabalho desenvolvido nesta investigação. No capítulo III é feita a descrição sucinta dos dados utilizados para a resolução da problemática, com destaque dos anúncios relativos à Alemanha e a anúncios capazes de interferir com os NAP¹ II e III. O capítulo precedente apresenta a metodologia utilizada para modelizar a volatilidade e verificar quais os fatores que estão na sua génese. O capítulo V retrata os resultados da análise. Finalmente, no capítulo VI são consolidadas todas as conclusões do estudo empírico presente.

1.2 Análise do Mercado de Carbono

O mercado de CO₂ teve início a 1 de Janeiro de 2005 e foi o primeiro mercado internacional a transacionar CO₂. Foi o instrumento adotado pelos países europeus de modo a atingir a sua meta de redução das suas emissões ao abrigo de Quioto (European Commission, 2009).

O mercado de CO₂ funciona numa perspetiva de “cap and trade” no qual o mercado europeu designa as suas transações como spot ou derivados das licenças de CO₂.

Durante a 1ª fase do *European Union Emission Trading Scheme* (EU-ETS) as transações realizaram-se maioritariamente através de operações over the counter (OTC) – ou de balcão- de acordo com a designação da literatura financeira. Apesar de em 2006 terem surgido 5 bolsas vocacionadas para este tipo de ativo (ECX, EEX, EXAA, NordPool e PowerNext) a maior parte das operações continuaram a dar-se em negócios de balcão (Fernandes, 2009).

O mercado primário refere-se aos leilões de licenças de CO₂ durante a fase I e fase II do mercado EU-ETS. Nada tem a ver com as primeiras emissões de créditos internacionais. O mercado secundário é onde se opera as transações de licenças de CO₂ que já foram emitidas ou aos créditos, bem como às transações de contratos forward de licenças de carbono e dos créditos internacionais.

Como um mercado regulado, o mercado europeu do carbono foi altamente original comparativamente com os outros existentes até à altura, tendo sido os governos a criar todos os passos para a operação do mercado. Todavia a regulação deu-se de forma heterógena e incompleta sendo urgente que esta se torne mais consistente de modo a que o mercado caminhe para a maturidade. A regulação tem dois objetivos principais de acordo com Prada (2010). O primeiro é o de assegurar que as regras ambientais são observáveis e que são uma sequência de mecanismos fundamentais que decorrem sem problemas, o que implica que não haja problemas na afetação das licenças anuais e que todas as questões referentes a estas e às sanções estão de acordo com as regras impostas. Corresponde à componente “cap” do mercado. O segundo assegura que o sistema de transferências de licenças seja eficiente e decorra sem problemas. Deste modo, garante a existência de um mercado livre de licenças de CO₂ cuja performance decorre dentro das condições de eficiência e integridade, o que permite robustez do sinal do preço do carbono, sendo portanto um

¹ NAP - National Allocation Plan

indicador robusto do comportamento dos investidores. Este segundo objetivo corresponde à componente “trade” do mercado.

O funcionamento do mercado é alterado ao longo das fases uma vez que a distribuição de licenças foi-se realizando de diferentes maneiras e cada licença de emissão equivale a 1 tonelada de CO₂ que a empresa pode emitir.

O mercado é composto por três fases distintas. A primeira foi um período de experiência que teve início em 2005 e acabou no dia 31 de dezembro de 2007, tendo ficado marcada pelo excesso de licenças de CO₂ que foram atribuídas às indústrias. A segunda fase ainda se encontra a decorrer, tendo-se iniciado a 1 de janeiro de 2008 e acabará com o fim do Protocolo de Quioto em dezembro do corrente ano, 2012. Nesta fase fez-se a introdução das transações de licenças através de leilão. Por fim a terceira fase que começará a 1 de janeiro de 2013, marcada por uma grande incerteza quanto ao que o futuro reserva para este mercado, terminando em 2020.

O Plano Nacional de Alocação (NAP) consiste na afetação das licenças, detendo cada país membro uma determinada quantidade de créditos de Quioto para as suas indústrias. Durante o decorrer de cada fase é permitido que as licenças que não foram usadas transitem de um ano para o outro, mas a transição não se processa entre fases. Tal não é permitido uma vez que existem acertos na quantidade de licenças que existe no mercado (tendência a diminuir). Empresas que no final de uma fase tenham ultrapassado o limite de licenças poderão recorrer ao mercado e comprar licenças a uma empresa que tem licenças em excesso ou sujeitar-se-á a pagar uma multa. Na fase I a multa era de 40€/ton enquanto na fase II passou para 100€/ton. Todavia, a melhor opção será recorrer aos mercados uma vez que na primeira fase o preço médio do carbono foi de 16€ e na segunda de 25€ (Convery, Ellerman e Perthuis, 2008).

A alocação na fase I foi efetuada pelos governos de forma gratuita. Porém se a distribuição de créditos é menor do que o histórico de emissão da empresa, isso significa que esta terá custos adicionais, que irá adotar medidas para redução das suas emissões ou irá recorrer ao mercado e comprará créditos. O problema registado na primeira fase comprovou que afinal o histórico de emissões estava incorreto, tendo-se comprovado que a quantidade de emissões era substancialmente inferior, ou seja, houve excesso de licenças no mercado.

Na segunda fase esperava-se que entre 5% a 10% das licenças fossem transacionadas em bolsa, tornando-se este meio de alocação cada vez mais importante à medida que o mercado se tornou maduro.

Não obstante, a alocação de créditos pode ser feita através de outros dois mecanismos que operam conjuntamente com o mercado, o *Joint Implementation* (JI) e o *Clean Development Mechanism* (CDM).

O instrumento *Joint Implementation* permite que os membros troquem créditos de emissão entre si quando se procede a um investimento de mitigação de emissões de CO₂. Esta troca de créditos dá-se no valor da redução das toneladas provenientes da implementação do projeto, e assim o país que recebe o investimento terá de transferir os seus créditos para o país investidor. O país investidor irá então receber unidades de redução de emissão (ERUs). À partida não haverá qualquer problema neste instrumento, uma vez que são ambos países membros e há uma autorregulação do mercado. Contudo, estes instrumentos surgiram paralelamente ao mercado e atualmente, existem projetos de captura e armazenamento do dióxido de carbono.

Como é que o projeto *carbon dioxide capture and storage* (CCS) irá dar acesso a créditos de emissão no mecanismo de progresso limpo? O projeto funcionará como outros desenvolvidos até à data, ou seja, um país investe em tecnologias CCS noutro país e recebe os créditos conforme a análise das curvas dos custos marginais de abatimento (MACCs) (Zakkour, Dixon e Cook, 2011). O estudo desenvolvido por estes investigadores demonstrou que embora haja riscos associados à implementação do CCS existe evidência de benefícios consideráveis a médio e longo prazo na sua introdução com o CDM. A implementação deste novo projeto irá requerer um complexo mecanismo sectorial, acima do contemplado pelo CDM.

O CDM baseia-se no aumento de certificados de redução de emissão (CERs). Se um país membro investir num país em desenvolvimento dos que assinaram o Protocolo de Quioto, a passagem de créditos é muito semelhante ao que acontece com o dinheiro no sistema bancário, no

qual há o controlo da propriedade das licenças mas não há a preocupação sobre a origem das mesmas. É aqui que reside o problema, uma vez que o controlador dos negócios envolvidos na transação das CER é um administrador central independente da UE que tem como função registar todas as irregularidades. No entanto, poderá surgir situações de fraude, quer de furto de licenças, quer de irregularidades na transferência de licenças, o que leva a aumentos de licenças no mercado europeu e posteriormente levará a uma diminuição dos preços do CO₂.

Tanto os CERs como as unidades de redução de emissões (ERUs) são equivalentes às licenças de emissão por equivalerem a 1 tonelada de CO₂ emitida.

Além dos programas que são imensamente divulgados surgiu um ao qual a Alemanha aderiu, designado por Redução das Emissões através do desmatamento e da Degradação Florestal (REDD). Este programa permite que um país financie um governo de um país com florestas tropicais e assim beneficiar de créditos de emissão extra. Mas sendo que a maioria ou totalidade de países com florestas tropicais são países em desenvolvimento é necessário haver um controlo rigoroso de modo a verificar-se que os fundos foram gastos na proteção, revitalização e crescimento destas zonas florestais.

Além das mudanças a nível da alocação das licenças de emissão da União Europeia (EUAs) também se verificou uma mudança nos setores de atividade económica que participam no mercado.

Na fase inicial incorporavam o mercado as instalações com emissões de CO₂ muito elevadas, tais como a indústria de geração de energia e calor, bem como os setores com intensivo consumo energético, instalações de combustão, refinarias de petróleo, fornos de coque, ferro, siderurgias e fábricas de cimento, vidro, cal, tijolos, cerâmica, papel e celulose. Em 2008 decidiram introduzir no mercado as indústrias de produção de ácido nítrico e a aviação. Nesta fase houve ainda um alargamento do mercado da UE, à Islândia, Liechtenstein e à Noruega. No ano corrente as companhias aéreas de todas as nacionalidades precisarão de licenças de emissão para voos dentro e para fora da UE.

A partir de 2013 instalações de captura, transporte e armazenamento geológico de gases de estufa, produtos petroquímico, amônia e setores de alumínio, emissão de óxido nítrico e ácido glicílico e perfluorocarbono da produção de alumínio também estarão abrangidos pelas leis do mercado de CO₂.

Não obstante a qualquer mudança, nada se equipará ao futuro próximo. Com o fim do protocolo de Quioto a UE criou o projeto “20 20 20” no qual se responsabilizará a reduzir o consumo energético em 20%, produzir 20% da sua energia através de recursos renováveis e reduzir a emissão de gases de estufa em 20%. Este projeto é a continuação dos esforços que a UE tem feito para reduzir o seu impacto no meio ambiente e sublinhar a importância de Quioto.

Na terceira fase as regras de mercado serão harmonizadas de modo a criar a credibilização do mercado, uma vez que gera mecanismos de previsão do comportamento do preço do CO₂. A redução das emissões será feita de forma gradual e linear, 1,74% ao ano, e a afetação das licenças será feita em cerca de 50% através de leilão.

Capítulo II

2.1 Revisão da Literatura

A volatilidade dos preços do CO₂ é uma questão crucial para o sucesso das políticas ambientais acordadas até ao momento (Celebi e Graves, 2009). As variações abruptas nos preços levam a atrasos no investimento a longo prazo e acarretarão problemas em alcançar-se as reduções de emissões pré-estabelecidas.

Sanin e Violante (2009) provaram que o modelo ARMA- GARCH não é o mais adequado para estudar o retorno e a volatilidade dinâmica dos preços futuros do CO₂ na UE devido ao número de “outliers” de volatilidade. Elas propuseram a utilização de variáveis explicativas (a probabilidade de ocorrer mudanças relativas no volume de transações e a probabilidade de ocorrer mudanças nos anúncios da Comissão Europeia relativamente às NAP durante a fase II) para solucionar este problema. Estas mudanças tiveram como propósito melhorar o modelo permitindo observar a génese dos saltos abruptos nos preços. No entanto, os modelos de variância condicionada são amplamente utilizados por vários autores quando pretendem estudar a volatilidade dos preços de uma determinada commodity.

Kjelby e Hansen (2010) utilizaram vários modelos GARCH para modelizar a volatilidade e o value-at-risk (VAR) para os contratos futuros do CO₂. Já Fabini (2012) no seu estudo sobre o mercado de gás natural na europa utilizou modelos EGARCH (1,1), TGARCH (1,1) e GARCH (1,1) para modelizar a volatilidade dinâmica dos preços spot do gás natural.

Chevallier (2010) recorreu ao modelo FAVAR e AR (1) - GARCH (1,1) para modelizar os preços spot, os preços futuros e os CER futuros do carbono. Num outro estudo utilizou o modelo EGARCH de modo a verificar a volatilidade realizada, a volatilidade implícita e a volatilidade entre dias, tendo verificado que todos os modelos eram globalmente significativos (Chevallier, 2011). Porém os modelos utilizados por vários autores não permitem apurar as causas da volatilidade, apenas modelizam o comportamento desta. Por conseguinte, é necessário verificar na literatura quais os fatores que determinam os preços do carbono.

A volatilidade presente nos preços do carbono é determinada por múltiplos fatores desde fatores económico-financeiros, ambientais como também psicológicos. No curto prazo as variáveis que influenciam o preço do carbono são a temperatura extrema, a taxa de desconto, o preço relativo dos combustíveis fósseis, o preço relativo e absoluto das commodities, nomeadamente, o petróleo, o carvão e o gás natural e as possibilidades de substituição entre elas. A longo prazo, são os programas CDM e JI e a incerteza sobre regulação futura, o borrowing² de licenças e alocação global, o crescimento económico e o custo marginal de abatimento (Carraro e Favero, 2009).

A temperatura extrema tem um impacto positivo sobre o preço do carbono. Pode-se verificar que em 2006, durante um Inverno frio, este refletiu-se no aumento dos preços, no entanto, no Verão de 2006 e Inverno de 2007 as temperaturas tiveram um impacto negativo (Alberola, Chevallier e Chèze, 2009).

A temperatura extrema não atua de forma isolada, pois a expectativa sobre a mesma que os agentes do mercado têm também se repercutirá no preço do carbono. Além disso, as condições meteorológicas influenciam a produção de energias renováveis (Alberola, Chevallier e Chèze, 2007).

A taxa de desconto tem impacto negativo sobre os preços, uma vez que, taxas de desconto superiores significam que os custos no futuro valem menos hoje e por conseguinte investe-se menos hoje para resolver os impactos dos custos das mudanças climáticas futuros (Ramseur, Leggett e Sherlock, 2012).

² Borrowing de licenças é na prática um empréstimo de licenças de carbono, ou seja, por cada direito de emissão em falta num determinado período, é retirado ao país deficitário 1.3 títulos no período seguinte (Fernandes, 2009).

O preço da energia é uma das principais determinantes do preço do carbono. Fezzi e Bunn (2009) provaram que o preço da energia é uma das determinantes de longo prazo considerando os dados da primeira fase do mercado. Eles também provaram que no curto prazo, os preços do carbono reagem rapidamente a choques no gás natural. Da análise entre o comportamento dos preços do carvão e do gás natural foi possível verificar que os preços do carvão reagem aos preços do gás natural pelo que é possível substituir marginalmente os geradores de carvão pelos geradores de gás natural. Todavia, o preço do carbono caiu abruptamente em 2006 não permitindo verificar a existência desse efeito. Alberola, Chevallier e Chèze (2007) no estudo sobre as determinantes do preço do carbono durante a primeira fase verificaram que o preço do petróleo, gás natural, carvão, bem como a troca de fontes energéticas tinham impacto significativo no preço do CO₂.

O borrowing de licenças e alocação global levará a um aumento dos preços do carbono, mas para se analisar a formação dos preços tendo uma base financeira de longo prazo, ter-se-á que analisar o custo do esforço de abatimento (Carraro e Favero, 2009). Existe evidência estatística que corrobora estes dois estudos, nomeadamente o estudo do Olivier et al. (2011) e de Blunden et al. (2011). Os custos marginais de abatimento são os custos adicionais de se eliminar uma unidade de emissão enquanto as curvas representativas destes custos dão-nos a relação inerente entre toneladas de emissão diminuídas e o preço do CO₂ (Morris, Paltsev e Reilly, 2011).

As curvas dos custos marginais de abatimento têm sido utilizadas por alguns estudiosos quando pretendem estudar o mercado de CO₂ no longo prazo (Benz e Ehrhart, 2007). No seu estudo sobre a formação dos preços no mercado europeu de emissões de CO₂, onde consideram a atribuição de certificados gratuitamente (*grandfathering*) num sistema híbrido, recorreram aos custos marginais de diminuição das emissões para explicar os preços do carbono. Concluíram, que as empresas só vendiam quando o preço era mais elevado do que o custo marginal de abatimento (MAC), o que vai de encontro à teoria microeconómica (Zakkour, Dixon e Cook, 2011). No estudo que efetuaram para estudar a relação entre o projeto CCS e o acesso a créditos de emissão no mecanismo de progresso limpo, as curvas MAC foram o método utilizado para a análise. As curvas MAC são afetadas positivamente pela política implementada, pelos gases de estufa que são considerados na análise, positivamente pelas oportunidades tecnológicas, pelas condições dos recursos humanos e pelo modelo que fora utilizado para apurar as curvas.

As políticas acordadas ou propostas são um fator determinante para o estudo de longo prazo, uma vez que a aplicabilidade das mesmas demora algum tempo devido à exigência de negociação entre as várias partes interessadas. Além disso, o efeito das políticas só é sentido, geralmente, a médio e longo prazo. Sabe-se que a intervenção no mercado por parte dos reguladores deverá acontecer se este for um mecanismo estabilizador do mercado, contudo tal nem sempre se verifica.

Além das determinantes supracitadas, existem outras (Kettner, Köppl e Schleicher, 2012). Estes autores elaboraram um estudo sobre o impacto da assimetria de informação, provando que esta era uma das razões para as variações registadas nos preços no EU ETS. Esta imperfeição de mercado leva a que o preço do carbono perca capacidade para auxiliar a tomada de decisões quanto ao investimento. Os autores propõem portanto uma autoridade específica para este mercado.

O crescimento económico está relacionado com a atividade económica num dado período sendo que uma atividade superior gerará um crescimento mais acentuado. Todavia, este crescimento processa-se às custas de um aumento do consumo energético e como fora mencionado anteriormente haverá impacto no preço do carbono. Em 2010 ocorreu uma situação que permite explicar o efeito do ciclo económico. Nesse ano ocorreu um crescimento excecional das emissões de gases de estufa, 5%, quando no período imediatamente anterior registou-se uma diminuição de 1%. Para se verificar um comportamento semelhante ter-se-ia que recuar até 1976 aquando da recuperação da economia ao *crash* do mercado petrolífero. Porém, este aumento não se deveu à recuperação da economia da bolha especulativa no mercado imobiliário e do efeito de contaminação das economias desenvolvidas, mas devido ao ciclo económico das economias emergentes chinesas e indianas, aumentando em 10% e 9%, respetivamente, o aumento de emissão de gases de estufa. Os países industrializados que assinaram o protocolo de Quioto diminuirão em

7,5% as suas emissões no ano de 2010 comparativamente ao verificado em 1990 (Olivier et al., 2011).

As incertezas quanto às emissões de gases de estufa globais estão em volta de uma grande incerteza, uma vez que, com o aumento da riqueza das economias emergentes, nomeadamente a China e a Índia, e consequente distribuição desta pela população levará a um aumento crescente no consumo destes povos que perfazem um total de 1/3 da população mundial. São aproximadamente 2,5 biliões de pessoas a procurar um estilo de vida semelhante aos dos países desenvolvidos, e com um sistema energético arcaico. Se tivermos em conta somente as condições atuais, verificamos que a humanidade se tornou uma “praga voraz” que nunca cessa a manipulação sobre o meio em que vive.

Outra explicação para este incremento é nos dada por Blunden et al. (2011), no qual defendem que o acréscimo se deveu a um aumento do número de meses de inverno gélido na maior parte das regiões, desencadeando um aumento da procura por gás para os geradores de calor.

A NPC Global Oil e Gas Study elaboraram em 2008 um estudo sobre a aplicação das políticas no mercado de CO₂ nos Estados Unidos da América e as consequências destas no mercado energético. Verificaram que o preço da energia após a regulamentação do mercado de CO₂ se tornou mais volátil (NPC Global Oil e Gas Study, 2008).

Durante a 1ª fase a transação em mercado organizado enfrentou o grande entrave do limite mínimo aceitável para ocorrer transação: 5000 toneladas métricas de CO₂. Este limite impossibilitava que pequenos compradores e vendedores recorressem a este tipo de operação. Porém devido à intervenção de vários intervenientes no mercado EU-ETS este limite passou para 1000 toneladas métricas de CO₂ (Fernandes, 2009). Assim sendo, é natural que a participação no mercado durante esta fase fosse reduzida.

Relativamente aos preços, esta fase demonstrou uma variação abrupta de abril para maio de 2006 (Brouwers, 2006) tendo depois convergido para valores próximos de zero. Fernandes (2009) considera que preços de CO₂ a título de “saldo” se devem sobretudo ao excesso de licenças distribuídas pelo NAP. Este facto é uma consequência da inexistência de dados sobre as emissões de CO₂ e o reduzido tempo disponível para colocar o mercado a funcionar. Todavia, esta explicação pode residir na tipologia de empresas que englobam o mercado. O mercado é constituído sobretudo por grandes empresas, principalmente, as empresas de energia que são grandes geradoras de gases de estufa. Porém não é necessariamente verdade que empresas grandes sejam mais poluidoras do que empresas de menor dimensão.

O trabalho empírico de Svendsen e Vesterdal (1998) concluiu que só há uma fonte considerável de CO₂ no sector energético, a relativa para caldeiras de capacidade superior a 25MW. O que nos leva a pensar que os reguladores do mercado de carbono podem ter sido induzidos em erro ao admitirem que grandes empresas seriam as maiores geradoras de gases de estufa e consequentemente emitiram mais licenças do que as necessárias para o funcionamento eficiente do mercado.

Na segunda fase do mercado as quantidades de licenças distribuídas tiveram de sofrer um ajustamento considerável, tendo sido retiradas 6,5% das licenças totais referentes à primeira fase do mercado. A partir de 2013 a redução no número total de emissões será feita de forma gradual em cerca de 1,7% ao ano, de modo a que no final da última fase os países europeus que participam no mercado consigam atingir a meta dos 21% de redução das suas emissões comparativamente ao ano de 1990 (European Commission, 2009).

Esta redução progressiva e faseada que leva à diminuição das licenças de emissão em circulação podem ter repercussões na capacidade de investimento dos intervenientes do mercado. Segundo a teoria microeconómica poderemos afirmar que uma diminuição na oferta e um aumento dos intervenientes no mercado, nomeadamente, as companhias áreas, terá como consequência o aumento dos preços das licenças. Se as empresas recorrerem ao mercado somente por terem ultrapassado o seu limite máximo de direitos de emitir CO₂ e se no futuro este mecanismo for mais caro é natural que o investimento em tecnologias de baixa emissão de CO₂ comece a tornar-se cada vez mais atrativo. Gangadharan, Farrell e Croson (2005) defendem que quando os agentes do sistema têm a possibilidade de investir em tecnologias amigas do ambiente, eles fazem-no além do

ponto ótimo. Uma das razões para isso é que o investimento neste tipo de tecnologia é informação pública que terá influência nalguns grupos de consumidores.

Do ponto de vista ecológico o investimento além do ponto ótimo é uma situação idílica e que assegura que as metas previstas sejam cumpridas. Do ponto de vista económico implica que há um deslocamento de capital em excesso que poderia ser canalizado para outros focos de investimento. Além disso, se todas as empresas que interagem no mercado investirem além do ponto ótimo significa que haverá a médio e longo prazo excesso de licenças em circulação que farão com que o preço do CO₂ caia, e tal situação poderá acontecer de forma abrupta. Esta situação poder-se-á refletir na competitividade do mercado do carbono e dos sectores económicos que o integram.

Porém dever-se-á fazer a ressalva de que o mercado de CO₂ não é uma determinante da competitividade dos sectores que o integram, mas sim, as metas acordadas em Quioto. O mercado é simplesmente um meio para se atingir ao menor custo o objetivo 2012. No final todos os sectores quer dos países participantes quer dos que não participam obterão ganhos provenientes do mercado EU-ETS (Klepper e Peterson, 2004)

A questão que se impõe ser colocada é: qual será o investimento ótimo? Abadie e Chamorro (2008) mostram que os preços das licenças que se verificaram na 2ª fase não oferecem um incentivo a investir em tecnologia CCS de forma mais rápida, e quando o tempo ideal para se investir é considerado para a análise, menor é a predisposição a investir.

O investimento só se justifica para licenças a partir dos 55€, mas se apenas se considerar uma análise *Net Present Value* (NPV) simples 14€ é o suficiente para se aceitar o projeto, desde que tenha vida útil acima dos 8 anos. Porém uma mudança na estrutura de mercado pode provocar uma queda no preço aceitável, se a volatilidade do CO₂ se ficar pelos 20%, basta que a licença seja de 32€ para se aceitar investir em CCS. Mas o estudo desenvolvido por estes dois autores apenas considera duas fontes de risco, o preço das licenças de emissão e o preço da eletricidade. A previsão de resultados para o mercado ETS será difícil enquanto o NAP não estiver determinado (Klepper e Peterson, 2004).

A libertação de notícias para o mercado das licenças tem sido caracterizada enquanto numerosa, impulsiva e espontânea (Mansanet-Bataller e Pardo, 2009). Os autores Mansanet-Bataller e Pardo analisaram o impacto dos anúncios regulatórios nos preços do carbono e na volatilidade dos mesmos para o período de outubro 2004 a maio de 2007, utilizando mais de 70 anúncios usando a metodologia de estudos de evento e o modelo de média truncada que não leva em consideração as surpresas grandes durante o período de estimação. Os resultados por estes obtidos permitiram concluir que os anúncios têm um impacto nos preços do carbono tanto no dia do anúncio como no dia anterior, mas não encontram evidência empírica sobre o impacto dos mesmos na volatilidade dos retornos.

Este impacto da regulação foi também analisado por Alberola, Chevallier e Chèze (2008) tendo os mesmos concluído que a fixação do cap nas emissões atualmente verificadas de facto afetam os preços EUA. Mas outros fatores fundamentais como os preços da energia, a temperatura e as condições gerais da atividade económica, são analisados em Mansanet-Bataller, Pardo e Valor (2007) e em Alberola, Chevallier e Chèze (2009a). Os seus resultados permitiram concluir que os preços das licenças estão intimamente ligados aos mercados energéticos, especialmente à eletricidade, gás natural e ao petróleo. Além disto, Alberola, Chevallier e Chèze (2009b) concluem que a produção por sector também influencia significativamente os preços do carbono. Por oposição Chevallier (2009) argumenta que os fatores de risco macroeconómicos como o “spread” de falência, a taxa de juro de curto prazo ou carteiras de ativos selecionados apenas afetam marginalmente os preços das licenças.

Artigos anteriores sobre a relação entre os preços do carbono e os fundamentais económicos levaram em consideração valores atuais mas não consideram as expectativas, ou simplesmente aplicaram variáveis *dummy* que levam em consideração alguns anúncios não controlando o conteúdo específico das mesmas. Conrad, Rittle e Rotfuß (2010) focam-se nas decisões da Comissão Europeia sobre os National Allocation Plans (NAPs), nos indicadores macroeconómicos sobre as perspetivas futuras da atividade económica e em dados sobre o estado

corrente da economia. Eles demonstram que os preços das licenças reagem fortemente às decisões da Comissão Europeia e às notícias sobre as NAPs II, mas que a reação dos preços das licenças é menor no caso de serem consideradas variáveis macroeconômicas. Os seus resultados foram obtidos com base em dados de frequência elevada e fundamentalmente estes autores concentram-se no preço e não na volatilidade destes mesmos preços das licenças.

Existe uma parte da literatura que testa empiricamente a extensão da volatilidade intradiária nos mercados de carbono. Rotfuß (2009) fornece uma análise das características da volatilidade para as fases I e II deste mercado enquanto Chevallier e Sévi (2011) registam uma habilidade superior de medidas de volatilidade realizada na previsão da volatilidade dos futuros das licenças. Focando-se somente no período inicial da fase II destes mercados, Conrad et al. (2012) demonstraram que os anúncios de regulação do mercado têm efeitos significativos na volatilidade intradiária enquanto a influência de anúncios macroeconômicos pré-agendados é somente marginal. Os autores também demonstram que os anúncios de regulamentação e o volume de transação desfasado têm um impacto positivo e estatisticamente significativo na volatilidade dos retornos das licenças. Finalmente, Rittler (2009) mostra evidência empírica de transmissão de volatilidade entre o mercado de futuros e o mercado spot, confirmando que os futuros têm papel de líder na descoberta dos preços.

Em suma, o mercado de CO₂ encontra-se sensível a múltiplos fatores que levam a variações de elevada magnitude nos preços das licenças de carbono. Segundo Celebi e Graves (2009) a presença de volatilidades elevadas nos preços do carbono provocarão atrasos no investimento a longo prazo levando a que haja problemas em alcançar-se as reduções de emissões pré-estabelecidas. A volatilidade do preço de CO₂ futura será maior do que aquela que atualmente se verifica e esta situação advém de fatores como a dificuldade em financiar-se nas instituições de crédito. Celebi e Graves acreditam que um desvio de 50% por ano no preço de CO₂ será plausível a menos que haja políticas dirigidas especificamente para o preço.

A incerteza perante o futuro deste mercado acarreta o aumento nos custos da política ambiental que numa situação de crise mundial como a que hoje atravessamos poderá por em causa o investimento por parte das nações europeias em tecnologias limpas e dificultar a implementação destas políticas. Desta forma, haverá uma marginalização dos esforços feitos até à data vigente e o cumprimento das metas preestabelecidas será posto em causa.

A continuidade do mercado do carbono após 2020 poderá ser uma miragem, apela-se por isso à intervenção governamental de modo a que este consiga criar condições mais favoráveis à eficiência do que será possível obter através do mercado livre. Ao criar-se condições mais favoráveis ao investimento de tecnologia que permite a diminuição de gases de estufa na atmosfera está-se a poupar no tempo que urge e do qual não temos resposta se já atinjamos ou quem sabe ultrapássemos o limite sem retorno.

Os autores, Celebi e Graves, sugerem que haja um teto e um chão, o primeiro para proteger os compradores e o segundo para proteger os vendedores. Em finanças chama-se a este instrumento, um “collar”. Porém estes limites teriam de ser adaptados às condições de mercado.

O trabalho que se segue terá como propósito verificar a existência de fenómenos de volatilidade e testar fatores de curto prazo que possam estar na sua origem, nomeadamente, os preços do gás natural, do carvão e do petróleo, bem como as temperaturas extremas tendo sido estes fatores referenciados na literatura. Todavia, este trabalho procura comprovar que o mercado também reage aos anúncios que são efetuados por vários órgãos de difusão de informação como o Point Carbon.

Capítulo III

3.1 Dados

A série dos preços spot diárias do carbono (expresso em EUR/EUA) da Alemanha foi o objeto de estudo sobre a qual recai toda a investigação. A série contempla o período compreendido entre 9/3/2007 e 31/12/2008, relativamente à primeira fase do mercado e transição desta fase experimental para a fase seguinte. As observações de 2008 são da fase II do mercado, tendo-se optado por incorporá-las na análise da fase anterior para harmonizar a análise desta fase relativamente à fase II. Tal como evidenciado em Alberola, Chevallier e Chèze (2009) os anos de 2007 e 2008 foram anos conturbados com os preços das licenças a atingirem valores nulos, devido às razões já anteriormente descritas como a proibição do uso de licenças em excesso da fase I para a fase II e daí a decisão de se incluir o ano de 2008 ainda na fase I. O segundo período da análise abrange todos os anos relativos à fase atual do mercado, sendo que este retém os dados desde 2/1/2009 até 11/6/2012. Do estudo consta um total de 1277 observações (Fonte: <http://www.eex.com>).

A série dos preços spot do carbono foi transformada tendo sido logaritimizada e diferenciada para tornar possível a elaboração do estudo sobre a volatilidade dos preços em termos de retornos.

Numa primeira abordagem todos os períodos da série foram a base do estudo, no entanto numa fase mais avançada optou-se por elaborar uma análise específica para cada fase de modo a verificar as suas diferenças. Em ambas as situações, os modelos que foram utilizados não permitiam apurar as causas da volatilidade e por conseguinte testou-se as determinantes preço futuro do petróleo, preço futuro do carvão, preço futuro do gás natural, os anúncios relativos ao mercado, e o clima.

Os preços futuros das commodities supracitadas refletem o comportamento do preço destas no mercado à vista pelo que não provocará por si uma invalidação da relação entre o preço spot do carbono com estas variáveis (Rittler, 2009).

Numa abordagem economicista verifica-se que do lado da oferta não se gera ruído, uma vez que a quantidade em circulação de licenças é do conhecimento de todos devido à divulgação das mesmas pelos NAPs. Por outro lado, o da procura, os preços do carbono são afetados pelos preços da energia ao consumidor, e apesar destes não constarem na análise estes estão implicitamente abrangidos através dos preços das commodities que são inputs energéticos, sendo que o petróleo também é usado na produção de manufaturas (Chevallier, 2012).

A série dos preços futuros do petróleo (expresso em EUR/BBL) negociado no Intercontinental Exchange (ICE), é proveniente do Mar do Norte, o qual abastece a Europa Continental (Fonte: <https://www.theice.com>).

O gás natural (expresso em EUR/Therm) é negociado em Zeebrugge Hub. Este é o mercado de gás natural mais líquido da Europa e influencia o preço que os consumidores pagam pelo gás (Fonte: <http://www.apxindex.com>).

O preço do carvão considerado na análise é o preço futuro transacionado em Antuérpia /Roterdão/Amsterdão (ARA), sendo o maior importador de carvão do nordeste da Europa. O carvão de ARA é expresso em EUR/ton (Fonte: <http://www.eex.com>).

À semelhança do tratamento dado à série de preços do mercado de carbono, todas estas séries de preços foram logaritimizadas e diferenciadas.

O clima como foi referido na revisão bibliográfica terá impacto na quantidade emitida de CO₂ por parte das indústrias, uma vez que, atribui-se a um clima mais gélido o consumo de mais energia. Além disso, a atribuição de licenças às indústrias depende do tipo de input energético que estas queimam. Por conseguinte, espera-se que o tempo frio provoque variações positivas no preço do carbono.

O clima baseia-se na temperatura média registada diariamente em Berlim. A série foi dividida em tempo frio (Tempcold) e tempo quente (Temphot) sendo que ambas as séries são dummies. Na Alemanha a temperatura média anual é de 9,4°C pelo que as temperaturas que fossem 7,5 °C acima da média eram consideradas como tempo quente e preenchiam o atributo (sendo que na tabela de Temphot aparece 1) e se estas fossem 7,5 °C abaixo eram consideradas temperaturas características de um clima frio (preenchiam atributo e eram registadas com 1 na tabela de Tempcold). Durante a primeira fase do mercado, as temperaturas eram registadas através dos máximos e mínimos diários (Chevallier, 2012) (Fonte: <http://www.meoweather.com>).

3.2 Anúncios

Sendo a análise do impacto de diferentes anúncios sobre a volatilidade do carbono o cerne da nossa análise, decidiu-se dedicar uma secção à explicação dos que foram aqui utilizados.

Os anúncios das regulações e legislações bem como notícias referentes à corrupção e novas regras de mercado foram englobados na análise, de modo a verificar a reação dos mercados. A importância de incorporar esta variável não observável (reação do mercado) reside no facto dos preços do carbono poderem ser sensíveis a esta variável e contribuírem para aumentar ou amenizar a volatilidade, dependendo do sinal do impacto. Esta variável explicativa foi subdividida em 3 dummies, uma relativamente aos efeitos que certos anúncios podiam provocar nas NAP da fase II, sendo que no dia do anúncio era registado com o valor 1; os efeitos sobre as NAP fase III e também no dia desses anúncios, foi considerado o valor 1; e por fim, todos os anúncios que poderiam afetar o mercado e as NAP da Alemanha obtinham valor 1 (designadas por GERMPUB). Quando não há efeito dos anúncios as tabelas são preenchidas com o valor “0”. As notícias proveem da Comissão Europeia, Parlamento Europeu, Bluenext, ICE, UNFCCC e Point Carbon.

Para as NAP fase II, NAP fase III e GERMPUB foram consideradas 66, 78 e 56 anúncios, respetivamente.

Todas as séries foram rigorosamente organizadas tendo o mesmo período de análise.

A título de exemplo apresenta-se algumas das notícias utilizadas para a NAPPHASE II e III (dummies 1 e 2):

Fonte: Comissão Europeia (http://ec.europa.eu/clima/news/news_archives_en.htm)

- 09 Jul 2010: Including Aviation into the EU Emissions Trading System
- 09 Jul 2010: Commission takes first step toward determining cap on emission allowances for 2013
- 26 Sep 2011: European Commission sets the rules for allocation of free emissions allowances to Airlines

Fonte: United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) (<http://unfccc.int/press/items/2794.php>)

- 07 Sep 2012 Kyoto Protocol's Clean Development Mechanism passes one billionth certified emission reduction milestone
- 20 Apr 2012 New loan scheme launched to boost CDM projects in least developed countries

Fonte: Point Carbon (<http://www.pointcarbon.com/>)

- 27 Jun 12 16:24 EU resists pressure to change carbon air law – letters
- 20 Oct 11 12:07 EU Commission moves to combat carbon fraud
- 21 Sep 11 18:40 EU to consider ban of coal and hydro CDM projects

Relativamente à GERMPUB estas são algumas das notícias que fazem parte da análise (dummy 3):

Fonte: Point Carbon (<http://www.pointcarbon.com/>)

- 21 Jun 12 14:15 EU CO2 permit auction delay illegal: German lawyer
- 13 Apr 12 11:20 Deutsche Bank raises EUA oversupply forecast to 2020
- 29 Feb 12 18:25 Small German installations apply to exit EU ETS
- 17 Jan 12 15:16 Germany pledges 10 mln euros to promote new CDM programmes
- 21 Dec 11 15:01 German court finds six guilty in carbon fraud trial
- 18 Aug 11 17:44Germany's richest province to pass binding CO2 cap
- 11 Jul 11 18:27Germany to meet CO2 goal without offsets
- 20 Jun 11 17:06Germany goes back to black in snub to green power

Capítulo IV

4.1 Metodologia

A volatilidade de um instrumento financeiro não é passível de ser modelizada através dos modelos ARIMA, uma vez que, o estudo das flutuações destes instrumentos requer a análise de momentos superiores à 2ª ordem (valor esperado, variância, auto covariância e autocorrelação).

Os modelos autorregressivos pretendem responder à necessidade de prever a variância do retorno estando esta previsão condicionada à informação passada.

O estudo da volatilidade do logaritmo dos preços spot do CO₂ foi efetuado através de dois tipos de modelos heteroscedásticos, o GARCH e o EGARCH. Estes modelos permitem a previsão da volatilidade ao fornecerem a variância condicionada aleatória.

Também os autores Kjelby e Hansen (2010) utilizaram estes mesmos modelos chegando à conclusão sobre a sua eficácia.

4.2 Modelo ARCH

O modelo ARCH é um modelo auto regressivo de heteroscedasticidade condicional (Engle, 1982). Este modelo modeliza a variação do quadrado da volatilidade como uma média móvel das observações passadas da série temporal, ou seja, pretende estudar a evolução da volatilidade (σ^2).

Um processo X_t diz-se um processo ARCH de ordem q se:

$$X_t = \sigma_t \varepsilon_t$$

$$\text{Sendo, } \sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 X_{t-1}^2 + \dots + \alpha_q X_{t-q}^2. \quad (1)$$

Onde σ_t é uma sequência não negativa de variáveis aleatórias e ε_t é uma sequência de variáveis aleatórias independentes e identicamente distribuídas (iid) tendo valor médio nulo e uma variância unitária. σ_t^2 é a variância condicionada.

Da fórmula do modelo ARCH pode-se constatar que este assume que a variância futura dos retornos é igual à média dos pesos ponderados dos desvios-padrões das n observações.

A condição de estacionaridade de um modelo é bastante importante, uma vez que nos garante que existe um padrão de comportamento e desse modo poder-se-á indagar sobre o comportamento futuro do objeto de estudo. A estacionaridade do modelo ARCH só é conseguida se o somatório de todos os α_i $\{i=1, \dots, q\}$ for inferior a 1. Ou seja, X_t terá valor médio nulo e uma variância constante, estando a variância condicionada relacionada com o quadrado dos erros passados e varia ao longo do tempo, não existindo aleatoriedade.

Pela estrutura do modelo constata-se que quando X_t toma valores grandes no passado a variância condicionada σ_t^2 será elevada.

4.2.1 Efeitos ARCH

Para testar os efeitos ARCH temos o teste Lagrange Multiplier (LM) que foi proposto por Engle servindo para testar a presença do modelo ARCH (Nelson, 1991).

As hipóteses a testar são as seguintes:

$$H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_i$$

$$H_1: \exists \alpha_i \neq 0 \text{ com } i = 1, \dots, q \quad (2)$$

LM segue uma distribuição qui-quadrado com q graus de liberdade.

Engle (1982) mostrou que a estatística do teste LM pode ser obtida através do cálculo NR^2 , onde N é o nº de observações e R^2 é o coeficiente de correlação múltipla da regressão $\varepsilon_t^2 = \varepsilon_t + \varepsilon_{t-1}^2 + \dots + \varepsilon_{t-i}^2$. (3)

Se a hipótese nula for aceite pode-se afirmar que a série não apresenta efeitos ARCH, caso um dos coeficientes seja diferente de zero então existe efeitos ARCH.

Não se pode testar a presença do modelo GARCH (q,p) pela estatística LM.

4.3 Modelo GARCH

O modelo GARCH é um modelo autorregressivo de heteroscedasticidade condicional generalizado (Bollerslev, 1986). A identificação e a estimação deste modelo só são possíveis através do rácio de máxima verosimilhança.

Segundo este modelo a variância condicionada do processo de erro não só está relacionada com os quadrados dos valores passados da série que é objeto de estudo como também se relaciona com variâncias condicionadas passadas.

O modelo GARCH (q, p) pode ser expresso através da seguinte expressão:

$$X_t = \sigma_t \varepsilon_t$$

$$\text{Sendo, } \sigma_t^2 = \alpha_0 + \sum_{i=1}^q \alpha_i X_{t-i}^2 + \dots + \sum_{j=1}^p \beta_j \sigma_{t-j}^2. \quad (4)$$

Os coeficientes α_i $\{i=1, \dots, q\}$ e β_j $\{j=1, \dots, p\}$ são conhecidos como os coeficientes ARCH e GARCH, respetivamente.

Para que haja a garantia de que a variância condicionada seja finita e X_t seja um processo estacionário basta se verificar a condição:

$$\sum \alpha_i + \beta_j < 1 \quad (5)$$

4.4 Modelo EGARCH

Este modelo veio colmatar as falhas do modelo GARCH (Nelson, 1991). O modelo EGARCH permite dar uma resposta assimétrica a variações positivas e negativas de X_t da mesma amplitude.

O modelo EGARCH tem a forma

$$X_t = \sigma_t \varepsilon_t$$

$$\text{Onde, } \ln(\sigma_t^2) = \alpha_0 + \frac{1 + \theta_1 B}{1 - \alpha_1} g(\varepsilon_{t-1}) \quad (6)$$

Através da equação que descreve o modelo é possível verificar que não é necessário impor qualquer restrição de modo a garantir que $\sigma_t^2 > 0$.

4.5 Modelos GARCH com K variáveis explicativas

Aos modelos descritos têm-lhes sido aplicadas algumas críticas na literatura por não explicarem a causa da volatilidade, mas são comumente utilizados na literatura por permitirem explicar a volatilidade de uma forma simples (Kjelby e Hansen, 2012) e porque permitem modelizar a volatilidade dos preços. De modo a conseguirmos indagar sobre as causas por de trás da volatilidade dos preços do CO₂ ter-se-á de aplicar a mesma metodologia de Sanin e Violante (2009), modelos GARCH com k variáveis explicativas.

A análise dos determinantes dos preços do carbono será feita exclusivamente pelo lado da procura do mercado, uma vez que, a quantidade de licenças existentes é conhecida por todos os intervenientes do mercado. Sendo que a quantidade é fixa e limitada pelo Plano Nacional de Licenças, em termos de oferta.

O preço da energia é considerado por muitos autores a determinante mais importante dos preços do CO₂ (Alberola et al., 2009b).

O preço do carvão, do gás natural e do petróleo irá estar contido no custo de produção de energia, sendo um incremento adicional, uma vez que ambos são inputs energéticos. Todavia, o gás natural é um substituto do carvão e é menos poluente, sendo apontada por muitos autores como a troca energética mais económica e permite que se atinja os objetivos de 2020 (Fezzi e Bunn, 2009).

A procura por combustíveis fósseis depende dos preços absolutos e relativos destes. As empresas têm de acompanhar as mudanças relativas nos preços da energia, pois se eventualmente os preços do petróleo aumentam, os custos de produção das manufaturas e os da energia irão também aumentar, refletindo-se no aumento dos gastos das empresas. Além disso, a quantidade oferecida de licenças de carbono depende do sistema energético que a empresa detenha (J. Chevallier, 2012).

É por tudo isso que os preços destas commodities estão relacionadas com o preço da energia, e por conseguinte, o modelo para verificar se estas variáveis são determinantes da volatilidade é o seguinte (designado por modelo I):

$$\sigma_{CO_2} = f(P_{brent}, P_{coal}, P_{gn}) \quad (7)$$

sendo P o preço das diferentes commodities que influenciam o preço do carbono.

O clima extremo é também um fator a ter em conta. Não só este está relacionado com o consumo acrescido de energia, sendo esta utilizada para equipamentos de aquecimento ou para equipamentos de refrigeração, como também está intimamente relacionada com a produção de energias renováveis, através da quantidade de horas solares, força do vento, precipitação. Tem por isso um papel fundamental na formação dos preços do CO₂ (Chevallier, 2011).

A equação que descreve a relação entre a volatilidade do preço do carbono e o clima pode ser escrita pela forma (designado nas estimações econométricas por modelo III):

$$\sigma_{CO_2} = \alpha_0 + \beta Tempcold + \theta Temphot \quad (8)$$

Os reguladores do mercado têm um papel fundamental no mercado, dado que estes podem influenciar o preço através de três mecanismos: o mercado de captura e comercialização de licenças, taxas e regulações. O sistema de mercado dita a quantidade de licenças que é oferecida a cada poluidor, podendo esta ser reduzida para indústrias cujos custos de diminuição das suas emissões são elevadíssimos e elevado para indústrias de baixa emissão, e deste modo, gera a necessidade de haver troca entre os dois tipos de indústria (Carraro e Favero, 2009).

A regulações dos governos devem servir para acalmar os mercados, porém as incertezas quanto às regulações geram perturbações quer no mercado quer nas decisões das empresas quanto ao investimento para diminuir as suas emissões de carbono (Hanemann, 2007).

Para verificar a influência das regulações e legislações, bem como outras notícias referentes ao mercado foi testado o seguinte modelo (designado por modelo II):

$$\sigma_{CO_2} = \alpha_0 + \beta NAPphaseII + \theta NAPphaseIII + \phi GermPub \quad (9)$$

Sendo as variáveis NAPPHASE II e III referentes a anúncios que influenciam as NAP na segunda fase e terceira fase do mercado respetivamente, e a variável GERMPUB é referente a anúncios exclusivamente sobre o mercado de CO₂ na Alemanha. As notícias NAPPHASE III são aqui incluídas por terem sido anunciadas durante a fase II e por poderem provocar reações no mercado no presente.

Os argumentos descritos permitiram concluir que a estrutura do modelo dos fatores produtivos ou inputs que influenciam a volatilidade dos preços de carbono é (Kjelby e Hansen, 2010):

$$\sigma_{CO_2} = f(P_{brent}, P_{coal}, P_{gn}, P_{electricity}, T) \quad (10)$$

T é a temperatura registada sendo considerados apenas os valores extremos.

Todavia, não é possível encontrar uma literatura substancial que teste o efeito dos anúncios das legislações, regulações e outras informações importante. Este é o contributo principal do presente estudo.

O modelo geral sobre as determinantes da volatilidade de carbono aqui utilizado pode ser escrito da forma

$$\sigma_{CO_2} = f(P_{brent}, P_{coal}, P_{gn}, P_{electricity}, T, Law) \quad (11)$$

A variável Law já contém em si as variáveis NAPPHASEII, NAPPHASEIII e GERMPUB. Este modelo vai ser designado por modelo IV aquando das estimações do capítulo V.

A primeira fase da investigação estará focada no estudo do comportamento da volatilidade e é onde se pretende provar que de facto esta existe nos preços do carbono. Posteriormente será elaborado um processo faseado de modo a verificar os impactos de individuais tais como os preços das commodities, dos anúncios e do clima e os impactos do modelo generalizado na volatilidade do carbono. Por fim, será feita uma análise comparativa entre a fase inicial e a fase atual do mercado.

Capítulo V

5.1 Análise Empírica e Discussão de Resultados

O cronograma da série de retornos do CO₂ evidencia uma variabilidade considerável. Poder-se-ia indagar que esta não seria estacionária até à segunda ordem. No entanto, da análise do correlograma da série diferenciada (Anexos: ilustração 3) verifica-se que as funções PACF e ACF convergem para valores nulos, pelo que a série é estacionária.

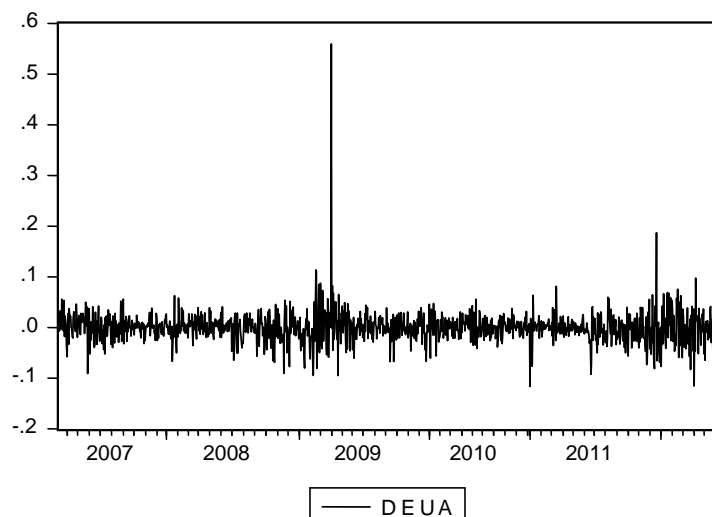


Gráfico 1: Comportamento da série diferenciada dos preços spot das EUA

Da análise do gráfico da série pode-se verificar a existência de “clusters” de volatilidade, o que denota a presença de períodos de elevada variabilidade e outros períodos cuja variabilidade é mais reduzida. A existência desta característica de volatilidade não permite que a série demonstre homogeneidade ao longo do tempo. A título de exemplo este fenómeno verifica-se no período compreendido entre meados de abril de 2009 a meados de Dezembro de 2011. Da análise da base de dados verificou-se que tal fenómeno se deveu às variações nos preços do petróleo, gás natural e carvão. Em torno desses períodos a variabilidade é elevada enquanto a variabilidade dos dados entre esse período tem um comportamento mais suave.

A ilustração seguinte apresenta o histograma da série diferenciada bem como outras estatísticas incluindo o teste Jarque-Bera, que nos permite rejeitar a hipótese dos dados estarem normalmente distribuídos, o que é expectável, uma vez que a série dos preços do carbono comporta-se de forma similar a uma série financeira e como tal, estas costumam apresentar caudas pesadas e geralmente apresentam assimetria. O teste da normalidade permite especificar um modelo definido a partir dos filtros lineares para descrever o comportamento da série. Como não é o caso, ter-se-á de proceder à estimação de vários modelos de variância condicionada e escolher qual o modelo melhor que descreva o comportamento da série.

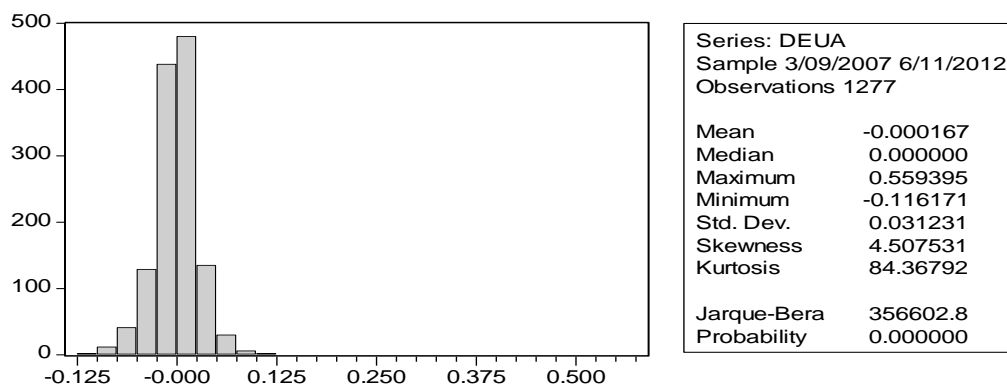


Ilustração 1: Histograma da série DEUA

Após a análise do comportamento da série procedeu-se à estimação do modelo parcimonioso para a série do carbono.

Inicialmente, foi experimentado o modelo GARCH (1,1) para todo o período da amostra.

Os resultados da estimação foram os seguintes:

<i>Equação de variância</i>			
<i>Variável</i>	<i>Coefficiente</i>	<i>Z-Estatística</i>	<i>P-Value</i>
<i>C</i>	<i>1.65E-05</i>	<i>7.137874</i>	<i>0.0000</i>
<i>ARCH (1)</i>	<i>0.163365</i>	<i>7.676756</i>	<i>0.0000</i>
<i>GARCH (1,1)</i>	<i>0.848273</i>	<i>53.14367</i>	<i>0.0000</i>

Tabela 1: Síntese do modelo GARCH (1,1)

Analisando todos os p-values dos coeficientes de estimação podemos afirmar, com evidência estatística, que os mesmos são significativos para um nível de significância de 5%. Deste modo, o modelo estimado toma a forma

$$X_t = \sigma_t \varepsilon_t$$

$$\text{Sendo, } \sigma_t^2 = 1,65E^{-05} + 0,1634X_{t-1}^2 + 0,838\sigma_{t-1}^2 \quad (12)$$

A avaliação do diagnóstico é a fase que se segue. Esta prende-se com a análise dos resíduos estandardizados da estimação. Estes não devem ser correlacionados nem conter qualquer efeito ARCH e deverão ter uma distribuição próxima ou igual à Normal. Em suma, têm de apresentar características de um ruído branco.

A estatística – Q permite indagar da existência ou não de correlação dos resíduos da estimação. As funções PACF e ACF dos resíduos são estatisticamente nulas para todos os desfasamentos à exceção do último desfasamento, sendo o nível de significância considerado de 5%. A estatística – Q apresentou como valor $52,527 \leq X_{36}^2(0,05) = 50,9985$ e um p-value de 0,037. Deste modo, rejeita-se a hipótese de nulidade destas funções até ao desfasamento 36, pelo que não se pode concluir que os resíduos são não correlacionados.

Para verificar se os efeitos ARCH estavam presentes no modelo recorreu-se ao teste ARCH (Anexos: tabela 8), como este não se mostrou globalmente significativo conclui-se sobre a não

existência de tais efeitos no modelo. O correlograma dos quadrados dos resíduos estandardizados (Anexos: ilustração 5) sublinha a conclusão supracitada, uma vez que, nos 36 desfasamentos considerados as funções PACF e ACF convergem para zero e para um nível de significância de 5% o seu $Q = 5,316 \leq X_{36}^2(0,05) = 50,9985$ com p-value de 1.

A distribuição dos resíduos não segue uma distribuição normal, uma vez que aplicando o teste Jarque -Bera este leva à rejeição dos valores 3 e 0 (p-value = 0) para os coeficientes de curtose e assimetria que são característicos de uma distribuição normal. No entanto, a distribuição dos resíduos assemelhasse mais a uma distribuição normal do que a distribuição da série diferenciada dos preços das licenças. Este facto leva a que o modelo viole as hipóteses clássicas de Gauss-Markov. No entanto não há problema na inferência estatística, pois o modelo não é estimado por OLS mas sim pelo método da estimação de máxima verossimilhança.

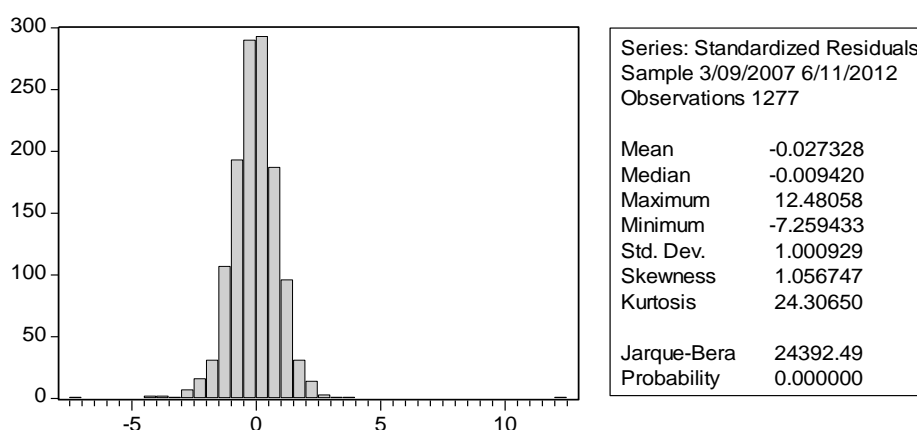


Ilustração 2: Histograma de normalidade

Foram ensaiados vários outros modelos incluindo o GARCH (1,2) e o GARCH (2,2). Contudo os coeficientes dos estimadores perdiam significância estatística, pelo que não foram considerados para a análise.

A condição de estacionaridade do modelo GARCH (1,1) diz que a soma dos coeficientes dos estimadores é inferior a 1, todavia no modelo estimado o resultado dessa soma é aproximadamente 1. Tendo em conta o desvio-padrão associado a estas estimativas a não estacionaridade é uma condição plausível.

Nas simulações em Eviews também foi testado o modelo EGARCH (1,1), sendo que este logarítmiza a variância condicionada, e logo é expectável que o modelo produza melhores resultados quanto a autocorrelação da variância apresenta um decréscimo inicial mais rápido do que o da função exponencial.

O modelo EGARCH (1,1) apresentou os seguintes resultados:

<i>Equação de variância</i>			
<i>Variável</i>	<i>Coeficiente</i>	<i>Z-Estatística</i>	<i>P-Value</i>
<i>C(2)</i>	<i>-0.248670</i>	<i>-11.09151</i>	<i>0.0000</i>
<i>C(3)</i>	<i>0.202963</i>	<i>9.783099</i>	<i>0.0000</i>
<i>C(4)</i>	<i>-0.047920</i>	<i>-4.158564</i>	<i>0.0000</i>
<i>C(5)</i>	<i>0.985845</i>	<i>689.0004</i>	<i>0.0000</i>

Tabela 2: Síntese do modelo EGARCH (1,1)

Para um nível de significância de 5% verifica-se que todos os coeficientes estimados são estatisticamente significativos, pelo que o modelo estimado pode ser escrito como

$$X_t = \sigma_t \varepsilon_t$$

$$\text{Sendo, } \ln(\sigma_t^2) = -0,249 + 0,203 \frac{|X_{t-1}|}{\sigma_{t-1}} + 0,838\sigma_{t-1}^2 - 0,048 \frac{X_{t-1}}{\sigma_{t-1}} * 0,986 \ln(\sigma_{t-1}^2) \quad (13)$$

Depois de estimado o novo modelo e antes de se proceder a qualquer diagnóstico do mesmo serão avaliados os seus critérios Akaike e Schwarz³ que permitem saber qual dos modelos é o preferível.

O modelo GARCH (1,1) é o que apresenta maiores valores em ambos os critérios pelo que este é o modelo parcimonioso. A mesma conclusão foi retirada na comparação do modelo parcimonioso com o modelo PARCH (1,1).

A última etapa consiste em prever o comportamento da variância futura através do modelo parcimonioso. Todavia, a volatilidade não é diretamente observável, então recorre-se à comparação da performance de diferentes modelos, no caso em concreto será um confronto entre o modelo GARCH (1,1) e EGARCH (1,1). Este método é perfeitamente discutível considerando que X_t^2 não é uma boa estimativa da variância condicionada σ_t^2 . Por conseguinte, é necessário calcular a qualidade da estimação através do root mean squared error (RMSE), mean absolute error (MAE) e mean absolute percent error (MAPE).

Dos gráficos da previsão deduz-se conclusões diferentes.

³ São índices utilizados para ajudar a determinar o que, de um certo número de alternativas de modelos estatísticos, se ajusta melhor aos dados, e quanto maior o valor deste índices melhor. Em caso de dúvida o índice de Schwarz permite decidir o dilema.

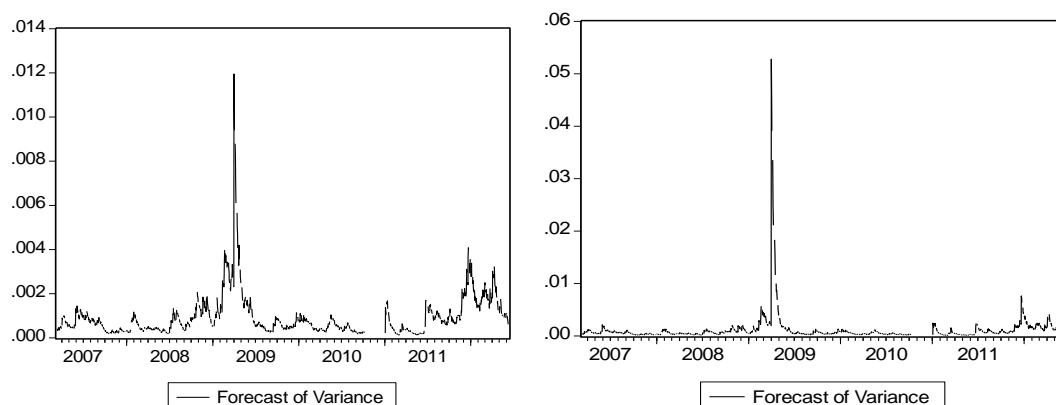


Gráfico 2: Forecast do EGARCH (1,1) e do GARCH (1,1), respetivamente

Para verificar qual dos modelos é o modelo mais qualificável para se poder indagar do comportamento futuro procedeu-se ao cálculo das medidas de qualidade.

	EGARCH	GARCH
RMSE	0,031219	0,031222
MAE	0,01998	0,019994
MAPE	97,95186	97,68741

Tabela 3: Medidas da qualidade de previsão

Uma vez que, o modelo GARCH apresenta medidas de qualidade de previsão superiores este modelo retrata melhor o comportamento futuro da variância. Em ambos os casos há uma tendência para que a volatilidade se mantenha baixa e por conseguinte os preços no curto prazo manter-se-ão aproximadamente iguais. Assim sendo, é expectável que a curto prazo os preços do carbono andem em torno dos 6€ e 9€, uma vez que foram os preços verificados entre 2/1/2012 e 11/6/2012.

Após toda a análise da volatilidade constata-se que os modelos ARCH e GARCH não permitem identificar as causas dessa, sendo esta uma característica intrínseca a estes modelos. Por conseguinte, procedeu-se à análise das determinantes citadas por outros autores e as que foram introduzidas neste trabalho, permitindo assim verificar quais as que efetivamente podem ter impacto na volatilidade dos preços spot do CO₂ da Alemanha.

Olhando para a volatilidade dos preços das licenças de carbono com os preços do petróleo, gás natural e carvão. O gráfico das séries diferenciadas destes modelos evidencia que o petróleo é aquele que possui mais variabilidade enquanto a série diferenciada do carvão tem um comportamento mais similar ao longo do tempo, excepcionando o período compreendido entre 2009 e 2010. O comportamento anormal do preço do carvão nos períodos anteriormente referidos pode dever-se à recuperação económica da recessão de 2009. Outra das razões é o facto de o inverno de 2010 ter sido mais frio do que os anos anteriores o que levou ao aumento da procura de geradores de calor (European Environment Agency, 2011).

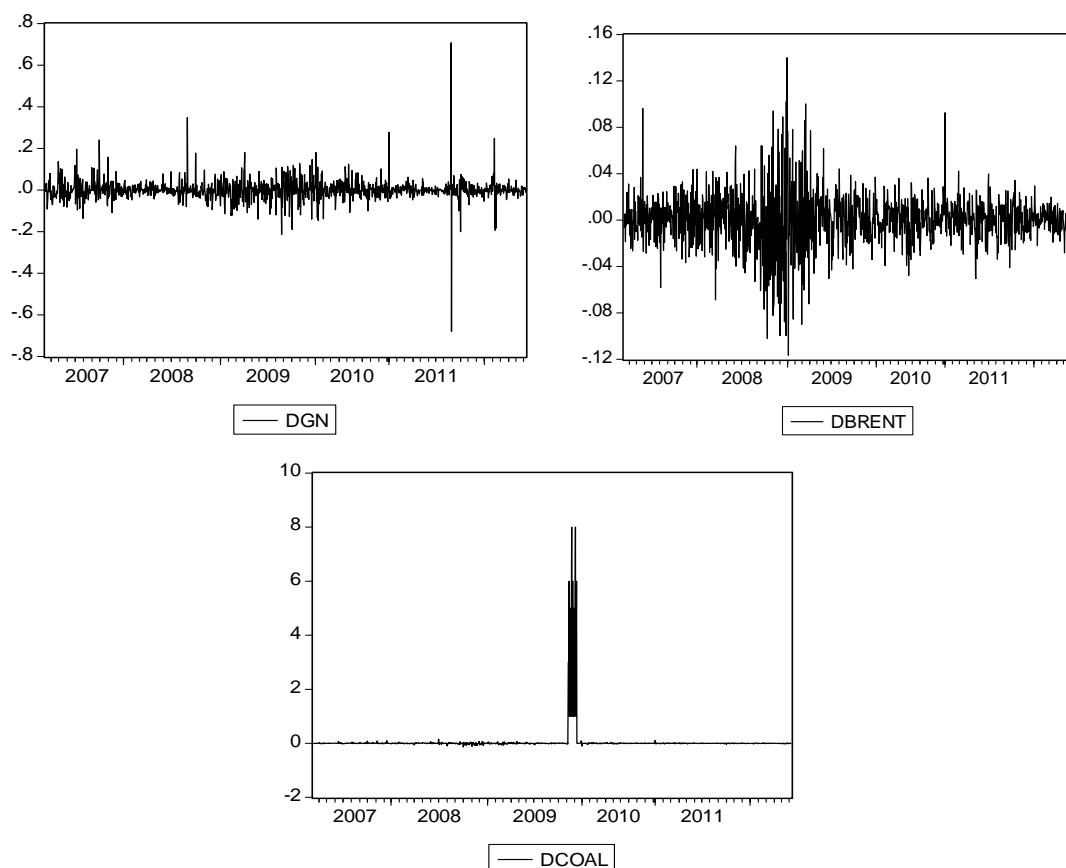


Gráfico 3: Comportamento das séries diferenciadas dos preços do gás natural, petróleo e carvão

A tabela 4 apresenta os valores dos coeficientes, z-stat e p-value para os modelos I, II, III e IV atrás explicados. Verificou-se da análise desta tabela que apenas o gás natural era estatisticamente significativo para um nível de significância de 5% ($p\text{-value} < 0,05$), ou seja, é o único que tem capacidade de explicar a volatilidade. Sendo, que se pode concluir que o gás natural tem um impacto positivo sobre a volatilidade do carbono.

Em seguida foi estimado um modelo que relaciona a divulgação das regulações, legislação e outras informações relevantes do mercado nos meios de comunicação. Os anúncios específicos da Alemanha mostraram-se incapazes de determinar a volatilidade do carbono, por outro lado, os anúncios gerais que têm impacto sobre as NAP quer da fase II quer da fase III do mercado são estatisticamente significativas. Verifica-se que ambas as variáveis geram uma redução na volatilidade dos preços do carbono quando consideradas isoladamente.

A resposta dos preços das licenças de carbono às temperaturas registadas num determinado período à partida terá um impacto significativo, uma vez que, um clima mais frio requer um consumo superior de energia. Verificou-se na tabela 4, modelo III, que isoladamente um clima quente ou um clima frio têm um impacto significativos. O que é expectável, se por um lado as temperaturas elevadas incentivam à utilização de geradores de calor, por outro lado, um clima quente irá aumentar o consumo por refrigeradores e instrumentos como ar condicionado. Seria contudo de prever que o clima tivesse um impacto positivo sobre a volatilidade e verifica-se o contrário. A razão subjacente a esta situação talvez esteja na expectativa sobre a temperatura, pois à partida todos os agentes económicos preveem que no Inverno haja temperaturas baixas e no Verão elevadas e prevêem-se em relação a esse fator externo (Alberola, Chevallier e Chèze, 2007).

Todavia, quando se junta todas as determinantes num só modelo a maior parte das variáveis perde capacidade explicativa, sendo que a única que se mantém significativa são os preços futuros do gás natural. Todavia os anúncios específicos da Alemanha passam no modelo generalizado a ter um impacto significativo.

Modelo I				Modelo IV		
Variáveis	Coef.	z-stat	P-value	Coef.	z-stat	P-value
DBrent	-0.000229	-0.727100	0.4672	2.22E-05	0.055339	0.9559
DCoal	2.76E-06	0.273485	0.7845	4.13E-06	0.397636	0.6909
DGN	0.000844	6.129662	0.0000	0.000836	4.712978	0.0000
Modelo II						
GermPub	0.000178	0.534288	0.5931	9.36E-05	2.087511	0.0368
Napphase II	-0.000621	-5.170991	0.0000	-1.64E-05	-0.630207	0.5286
Napphase III	-0.000599	-3.591380	0.0003	-1.97E-05	-0.906494	0.3647
Modelo III						
Tempcold	-0.000175	-9.974254	0.0000	-9.16E-06	-1.483374	0.1380
Temphot	-0.000280	-48.18608	0.0000	5.23E-06	0.664130	0.5066

Tabela 4: Comparação dos modelos das determinantes da volatilidade do preço das licenças de carbono

Como o mercado está dividido por fases torna-se relevante analisar estas variáveis em cada uma delas.

A análise que surge em seguida pretende saber se em cada fase há fenómenos de volatilidade, quais as causas e as diferenças entre as duas. É expectável que a segunda fase do mercado de carbono seja mais estável do que a primeira, uma vez que a inicial (fase I) foi um caso experimental, com todas as incertezas que são inerentes a uma nova experiência.

No gráfico geral da série em retornos aparentemente a primeira fase demonstrava ter um comportamento mais amenizado do que a segunda fase, e esta constatação é demolida pelos gráficos individuais de cada fase. A primeira fase mostra um ruído claramente superior ao da fase precedente. No entanto, é possível verificar que em ambos os casos existe o fenómeno de “clusters” de volatilidade.

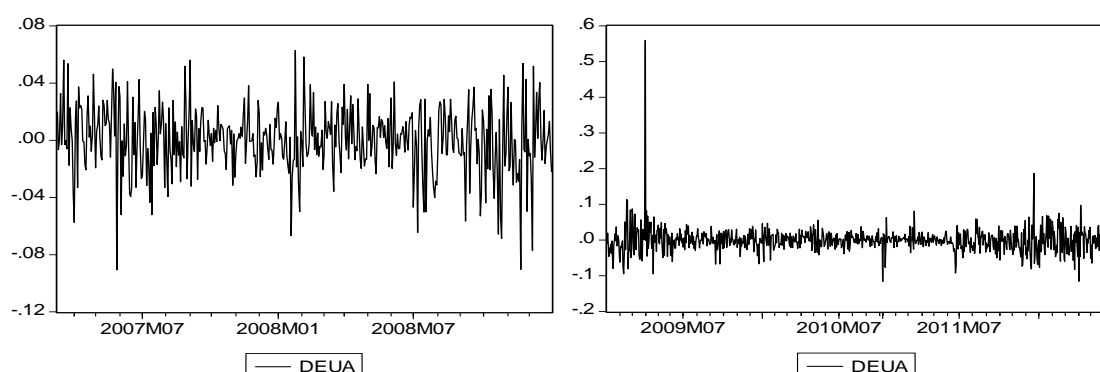


Gráfico 4: Comportamento da série diferenciada dos preços do carbono na fase I e na fase II

Os histogramas (Anexos: ilustração 6 e ilustração 10) relativos a ambas as fases da série diferenciada dos preços do carbono sublinham que esta série não segue uma distribuição normal.

No entanto, na primeira fase estes mostraram-se estar mais próximos de uma distribuição normal do que na fase atual.

Analisando os correlogramas da série DEUA (Anexos: ilustração 7 e ilustração 11) conclui-se que estas estão estacionarizadas. Por conseguinte, procedeu-se à simulação de vários modelos.

O modelo parcimonioso em ambas as fases foi o modelo GARCH (1,1) (Anexos: tabela 15 e tabela 22) escolhido não só pela significância estatística das suas variáveis como também foi aquele que maximizou os critérios Akaike e Schwarz.

Os resultados apurados da estimação foram:

	Fase I			Fase II		
GARCH (1,1)						
<i>Variável</i>	Coef.	z-stat	P-value	Coef.	z-stat	P-value
C	3.32E-05	2.438358	0.0148	1.61E-05	4.972431	0.0000
ARCH (1)	0.102530	3.165447	0.0015	0.216178	6.010282	0.0000
GARCH (1,1)	0.837475	17.09673	0.0000	0.826404	34.57185	0.0000

Tabela 5: Síntese da estimação do modelo GARCH (1,1) para a fase I e fase II

Para um nível de significância de 5% existe evidência estatística suficiente para se afirmar que todos os coeficientes estimados são significativos, ou seja, têm capacidade de explicar variações na variável exógena. Assim sendo, as expressões dos modelos podem tomar as seguintes formas:

$$\text{Fase I: } X_t = \sigma_t \varepsilon_t \text{ sendo, } \sigma_t^2 = 3,32E^{-05} + 0,103X_{t-1}^2 + 0,837\sigma_{t-1}^2 \quad (14.1)$$

$$\text{Fase II: } X_t = \sigma_t \varepsilon_t \text{ sendo, } \sigma_t^2 = 1,61E^{-05} + 0,216X_{t-1}^2 + 0,827\sigma_{t-1}^2 \quad (14.2)$$

Procedendo à avaliação de diagnóstico é possível verificar que em ambos os modelos não há efeitos ARCH (Anexos: tabela 17 e tabela 23), sendo que o teste ARCH LM mostrou ser estatisticamente insignificativo. O teste- Q permitiu verificar que em ambos os casos as funções PACF e ACF dos resíduos são estatisticamente nulas. Além disso, poder-se-ia deduzir que os resíduos são não correlacionados, uma vez que as suas estatísticas Q são inferiores ao ponto crítico (50,9985). Todavia, considerando um nível de significância de 5% esta não é significativa, pois ambos os p-values são superiores a 0,05.

A previsão da primeira fase foi elaborada exclusivamente com o modelo GARCH (1,1) servindo o comportamento da série diferenciada dos preços do carbono da segunda fase como comprovativo da capacidade de previsão do modelo, isto porque o modelo é autorregressivo.

Existe uma clara tendência para que a volatilidade diminua na fase seguinte e é possível de verificar face à queda abrupta verificada no final do gráfico. E se observado o gráfico na segunda fase da série diferenciada verifica-se que este manteve uma trajetória suave até sofrer um choque em meados de Abril de 2009. Portanto, há alguma validade previsional do modelo utilizado.

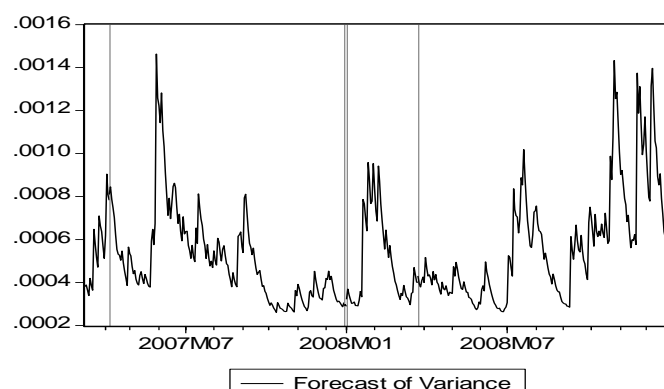


Gráfico 5: Previsão da volatilidade considerando a primeira fase

Alterando o foco da investigação para as causas destas perturbações verifica-se que existem determinantes particulares em cada fase do mercado do CO₂.

Na primeira fase, considerando somente o preço do petróleo, carvão e gás natural verifica-se que o gás natural tem capacidade explicativa sobre a variável endógena, considerando um nível de significância de 5%, e o petróleo também é estatisticamente significativo se alterarmos o nível de significância para 10%. Por outro lado, na fase procedente, estas perdem validade e passa a ser o preço do carvão a demonstrar-se estatisticamente significativo.

Relativamente aos anúncios, estes aparentemente não provocam qualquer impacto nas variações do preço de carbono na fase inicial, no entanto, na fase atual os anúncios gerais que têm repercussões nas NAPs demonstram ser capazes de explicar tais variações (p-value toma valor 0 tanto para NAPPHASE II como pra NAPPHASE III).

O clima adverso seja ele de temperaturas altas ou baixas evidencia ser capaz de explicar a volatilidade do carbono na segunda fase do mercado, todavia, durante a primeira fase só um clima frio é que provocava oscilações no preço, aparentemente.

Voltemos agora a analisar o modelo IV, cujos resultados se apresentam na tabela 6, mas agora efetuando a análise por fases. Similarmente, ao sucedido no modelo geral quando combinadas todas as forças exógenas verifica-se que quase toda a totalidade das variáveis deixa de ser estatisticamente significativa, tendo sempre considerado um nível de significância de 5%. O carvão foi a única variável a causar impacto, mas apenas durante a fase atual. Mas se alterarmos o a exigência de significância para 10%, o gás natural e os anúncios que afetam a NAP III passam a causar impacto no preço do carbono durante a primeira fase⁴.

⁴ Os resultados não foram aqui disponibilizados mas sê-los-ão caso seja necessário.

Fase I				Fase II		
Modelo I						
Variáveis	Coef.	z-stat	P-value	Coef.	z-stat	P-value
DBrent	-0.001346	-1.725.722	0.0844	-3.87E-14	-4.04E-12	1.0000
DCoal	-0.000302	-0.731722	0.4643	-3.39E-12	-9.282.387	0.0000
DGN	-0.000692	-2.331.616	0.0197	7.32E-14	1.97E-11	1.0000
Modelo II						
GermPub	8.89E-06	0.073851	0.9411	3.23E-07	0.001372	0.9989
Napphase II	-2.12E-05	-0.276768	0.7820	-0.000451	-4.134.636	0.0000
Napphase III	1.30E-05	0.159389	0.8734	-0.000484	-4.683.306	0.0000
Modelo III						
Tempcold	-0.000105	-2.220.952	0.0264	-1.89E-05	-2.041.713	0.0412
Temphot	-7.71E-05	-1.542.752	0.1229	-1.70E-05	-2.029.564	0.0424
Modelo IV						
DBrent	-0.001451	-1.768.611	0.0770	-1.02E-13	-1.06E-11	1.0000
DCoal	-0.000274	-0.492196	0.6226	-3.39E-12	-8.611.548	0.0000
DGN	-0.000472	-1.629.176	0.1033	1.93E-13	4.95E-11	1.0000
GermPub	1.61E-05	0.164390	0.8694	-2.09E-12	-3.83E-09	1.0000
Napphase II	0.000117	1.359.214	0.1741	-6.40E-12	-8.70E-09	1.0000
Napphase III	-8.68E-05	-1.669.588	0.0950	-8.36E-12	-1.33E-08	1.0000
Tempcold	-6.27E-05	-1.345.573	0.1784	-1.44E-11	-4.40E-08	1.0000
Temphot	-2.99E-05	-0.585775	0.5580	-2.34E-11	-7.68E-08	1.0000

Tabela 6: Síntese dos modelos das determinantes (Fase I e II)

Tendo em conta o que sucedeu durante a primeira fase e a segunda fase é previsível que à medida que o mercado vai ganhando maturidade este se torne menos volátil, como sucedeu da primeira para a segunda fase. Mas nada é uma garantia tendo em conta que o protocolo de Kioto acaba este ano e perante uma conjuntura económica tão frágil poder-se-á revogar a questão ambiental para segundo plano.

Celebi e Graves (2009) sugerem que exista um cap e um floor, sendo que o floor irá proteger os investidores, de modo a que o investimento em tecnologias seja vantajoso para estes e obtenham ganhos na venda das suas licenças de carbono. O teto serve para proteger os compradores, este nunca deverá ser igual ou superior a 100€/ton, uma vez que, não cria incentivo a que os compradores entrem no mercado, preferindo pagar a taxa de carbono.

Todavia, podemos concluir que provavelmente existem ainda outras variáveis que aqui não foram consideradas mas que se tornariam relevantes para explicar a volatilidade dos preços do CO₂. Talvez o uso de variáveis representativas do switching de combustível na produção de energia elétrica fosse uma alternativa pois isso tem impacto ao nível da procura por licenças (Chevallier, 2012) mas o acesso aos dados impediu o uso das mesmas no presente trabalho.

Chama-se ainda à atenção para o facto de no presente trabalho não ter feito a distinção entre anúncios com efeitos positivos e os com efeitos negativos dado ser uma análise que requer cuidados extra entre aquilo que se considera como “negativo” ou “positivo” para o mercado. Deste

modo, um cuidado adicional neste sentido poderia revelar efeitos distintos do presente. Contudo, deixaremos esta análise para um estudo posterior.

Capítulo VI

6.1 Conclusão

O estudo da volatilidade é importante para os investidores, analistas de mercado bem como para os reguladores de mercado, estando geralmente associada à criação de liquidez. No entanto, quando esta é excessiva pode prejudicar o bom funcionamento do mercado. Sendo o mercado do carbono ainda recente, é necessário ampliar o número de estudos relativos a todas as particularidades do mesmo de modo a proporcionar aos agentes de mercado todas as informações necessária para que estes tomem as suas decisões sobre investimento com a máxima fiabilidade. Neste sentido, o estudo presente focou-se na análise das determinantes da volatilidade dos preços do carbono, incluindo variáveis até aqui inexploradas (tanto quanto foi possível apurar) como os anúncios gerais do mercado (específicos da Alemanha) e outras já exploradas previamente pela literatura (combustíveis, temperatura e anúncios relativos às fases).

Da análise do comportamento da série dos preços spot de CO₂ da Alemanha verificou-se que se estava na presença de fenómenos de “clusters” de volatilidade, caracterizado por picos de elevada volatilidade seguidos de períodos mais baixos de volatilidade.

O modelo parcimonioso GARCH (1,1) permitiu constatar através da estatística Q que os resíduos são desprovidos de qualquer efeito ARCH, ou seja, estes são ruídos brancos que não dependem da passagem do tempo. Apesar dos modelos utilizados permitirem verificar o comportamento da volatilidade não mostram a fonte das variações dos preços do carbono. Foi então necessário aplicar modelos GARCH (1,1) com variáveis exógenas de modo a verificar se estas eram relevantes estatisticamente e quais os impactos gerados na volatilidade do preço do carbono. As variáveis exógenas preço do petróleo, preço do carvão, preço do gás natural e temperaturas já tinham sido citadas na literatura.

Além disso, o presente estudo preocupou-se em verificar a reação dos agentes do mercado aos anúncios publicados quer por parte dos reguladores quer por outras entidades com interesse no mercado em termos de volatilidade dos preços. Para isso foram analisadas várias fontes de notícias como a Point Carbon. Com este intuito criaram-se três novas variáveis exógenas, sendo estas dummy, uma vez que se pretendia sinalizar se uma dada notícia provocava ou não efeito nas NAP II e NAP III, bem como verificar de que forma reagia o mercado alemão a notícias específicas da própria Alemanha.

Dos modelos dos fatores individuais verifica-se que os preços futuros do gás natural têm um impacto positivo na volatilidade dos preços do carbono. Já os anúncios referentes às NAP II e III geram impactos negativos nas variações dos preços, bem como as temperaturas extremas.

Quando combinados todos os fatores num só modelo apenas o preço do gás natural e os anúncios de regulações, legislações e outras notícias importantes sobre o mercado de CO₂ da Alemanha demonstraram capacidade para explicar as variações no preço do CO₂. A previsão sobre o comportamento futuro permite indagar que os preços a curto prazo terão um comportamento similar, ou seja, andarão em torno dos 6€ a 9€ por licença de carbono.

Dado que o mercado está a atuar por fases, tornou-se necessário analisar as condicionantes de volatilidade considerando esta divisão temporal. Em detrimento da análise para cada uma das fases do mercado verificou-se que em ambas constava fenómenos de volatilidade, no entanto, a primeira fase do mercado evidenciou um maior ruído na série diferenciada dos preços spot do que a fase atual do mercado.

Na primeira fase, considerando somente os preços do petróleo, carvão e gás natural verifica-se que o gás natural tem capacidade explicativa sobre a variável endógena, considerando um nível de significância de 5%, mas o petróleo também é estatisticamente significativo se alterarmos o nível de significância para 10%. Por outro lado, na fase precedente, estas perdem validade e passa a ser o preço do carvão a demonstrar-se estatisticamente significativo. Relativamente aos anúncios estes não provocam qualquer impacto nas variações do preço de carbono na fase inicial, no entanto, na fase atual os anúncios gerais que têm repercussões nas NAPs

evidenciam ser capazes de explicar tais variações. O clima adverso seja ele de temperaturas altas ou baixas demonstrou ser capaz de explicar a volatilidade do carbono na segunda fase do mercado, todavia, durante a primeira fase só um clima frio é que provocava oscilações no preço.

Similarmente, ao sucedido no modelo geral quando combinadas todas as forças exógenas verifica-se que quase toda a totalidade deixa de ser estatisticamente significativa, tendo sempre considerado um nível de significância de 5%. O gás natural foi a única variável a causar impacto, mas apenas durante a fase atual. Com 10% de nível de significância o gás natural e os anúncios que afetam a NAP III passam a causar impacto no preço do carbono durante a primeira fase.

Em suma, nem todas as variáveis foram capazes de explicar as oscilações no preço do carbono como era expectável inicialmente. A experiência de previsão do comportamento do preço do carbono durante a primeira fase e posterior comparação com o que efetivamente se passou na segunda fase, permitiu constatar que a curto prazo o modelo tinha alguma qualidade de previsão.

O estudo do comportamento da volatilidade do preço spot do CO₂ e quais as suas causas vêm dar o contributo à literatura já existente pela parte da inclusão dos anúncios, o que também permitirá aos investidores acompanhar os movimentos das variáveis explicativas.

Este estudo poderá ser estendido no futuro considerando agrupamentos de notícias enquanto boas e más para tentar perceber se exercerão impacto diferente. Também à medida que entrarmos na fase III será relevante estender a presente análise alargando-se o período de estudo. A identificação de outras possíveis fontes explicativas de volatilidade é igualmente relevante, pois os fatores até aqui utilizados bem como a introdução de notícias não foram capazes de explicar volatilidade dos preços do CO₂ na sua totalidade.

Bibliografia

- Abadie, L. M., & Chamorro, J. M. (2008), "European CO₂ prices and carbon capture investments", *Energy Economics*, 30(6), 2992-3015, doi: DOI 10.1016/j.eneco.2008.03.008
- Alberola, E., Chevallier, J. and Chèze, B. (2008), "Price drivers and structural breaks in european carbon prices 2005 - 2007", *Energy Policy*, 36, 787-797
- Alberola, E., Chevallier, J., & Chèze, B. (2009), "The EU ETS: CO₂ prices drivers during the learning experience (2005-2007)", halshs, 00389916, version 1, doi: halshs-00389916, <http://halshs.archives-ouvertes.fr/docs/00/38/99/16/PDF/20090530090515.pdf>
- Alberola, E., Chevallier, J. & Chèze, B. (2009a), "The EU Emissions Trading Scheme: The effects of industrial production and CO₂ emissions on european carbon prices", *International Economics*, 116, 95-128
- Alberola, E., Chevallier, J. & Chèze, B. (2009b), "Emissions compliances and carbon prices under the EU ETS: A country specific analysis of industrial sectors", *Journal of Policy Modeling*, 31, 446-462
- Alberola, É., J. Chevallier, et al. (2007), "European carbon prices fundamentals in 2005-2007: The effects of energy markets, temperatures and sectorial production", *EconPapers*, Working paper 2007-33, http://economix.fr/pdf/dt/2007/WP_EcoX_2007-33.pdf
- Benz, E. and K.-M. Ehrhart (2007), "The initial allocation of CO₂ emissions allowances: A theoretical and experimental study", Discussion paper, University of Bonn, http://www.cer.ethz.ch/resec/research/workshops/Nachwuchsworkshop/Benz_Paper.pdf
- Blunden, J., Arndt, D. S., & Baringer, M. O. (2011), "State of the Climate in 2010", *Bulletin of the American Meteorological Society*, 92(6), S1-S236, doi: Doi 10.1175/1520-0477-92.6.S1
- Bollerslev, T. (1986), "Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity", *Journal of Econometrics* 31(3): 307-327
- Brouwers, D. (2006), "Managing the market risk of european CO₂ allowance trading", Master, University of Twente, http://essay.utwente.nl/58133/1/scriptie_D_Brouwers.pdf
- Carraro, C. and A. Favero (2009), "The economic and financial determinants of carbon prices", *Finance a Uver-Czech Journal of Economics and Finance* 59(5): 396-409
- Celebi, M., & Graves, F. (2009), "CO₂ price volatility:Consequences and cures", The Brattle Group, Discussion paper, <http://www.brattle.com/documents/uploadlibrary/upload736.pdf>
- Chevallier, J. (2009), "Carbon Futures and Macroeconomic Risk Factors: A View From the EU ETS", *Energy Economics*, 31, 614-625
- Chevallier, J. (2011), "Detecting instability in the volatility of carbon prices", *Energy Economics*, 33(1), 99-110, doi: DOI 10.1016/j.eneco.2010.09.006
- Chevallier, J. (2010). "Volatility forecasting of carbon prices using factor models". *Economics Bulletin*, 30(2), 1642-1660.

Chevallier, J. (2011), "Carbon price drivers: An updated literature review", halshs 00586513 version 1, http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/58/65/13/PDF/chevallier_carbon_16_04_11.pdf

Chevallier, J. (2012), "CO₂ price fundamentals". Springer Netherlands, 19-54. doi: 10.1007/978-94-007-2412-9_2

Chevallier, J. and Sevi, B. (2011), "On the realized volatility of the ECX CO₂ emissions 2008 futures contract: Distribution, dynamics and forecasting", *Annals of Finance* 7, 1-29

Conrad, C., Rittler, D. & Rotfuß, W. (2010), "Modeling and explaining the dynamics of European Union allowance prices at high-frequency", ZEW Discussion Paper No. 10-038, <ftp://ftp.zew.de/pub/zew-docs/dp/dp10038.pdf>

Conrad, C., Rittler, D. & Rotfuß, W. (2012) "Modelling and explaining the dynamics of European Union allowance prices at high frequency", *Energy Economics*, 34, 1, 316–326

Convery, F., Ellerman, D., & Perthuis, C. D. (2008), "The european carbon market in action: Lessons from the first trading period", MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, http://www.cdcclimat.com/IMG/pdf/ENG_The_European_carbon_market_in_action_ExecSummary.pdf

Engle, R. F. (1982). "Autoregressive conditional heteroscedasticity with estimates of the variance of United-Kingdom inflation." *Econometrica* 50(4): 987-1007

European Commission. (2009), "EU action against climate change". Graphic Paper, European Commission, http://www.ab.gov.tr/files/ardb/evt/1_avrupa_birligi/1_6_raporlar/1_3_diger/environment/eu_emissions_trading_scheme.pdf

Fabini, C. (2012), "Price forecasts in the european natural gas markets", Master, University of St.Gallen, <http://www.iorgf.unisg.ch/en/CC+Energy+Management/Competences.aspx>

Fernandes, M. (2009), "O mercado de direitos de emissão de CO₂: Um estudo experimental", Dr, Universidade do Minho, <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/10471>

Fezzi, C., & Bunn, D. W. (2009), "Structural interactions of european carbon trading and energy prices", *The Journal of Energy Markets*, 2(4), 53-69

Gangadharan, L., Farrell, A., & Croson, R. (2005), "Investment decisions and emissions reductions: Results from experiments in emissions trading", Research Paper, University of Melbourne, <http://cbees.utdallas.edu/papers/07-12.pdf>

Hanemann, M. (2007), "The role of emission trading in domestic climate policy", *The Energy Journal*, 30(2), 73-108

Kettner, C., A. Köppl, et al. (2012), "Carbon authority as price stabilising institution in the EU ETS", WIFO - Climate Strategies, http://icpia-project.wifo.ac.at/docs/WP_5.pdf

- Kjelby, A., & Hansen, Ø. (2010), "Modeling volatility and risk in the CO₂ emissions market", Master of Science, Trondheim Business School, http://brage.bibsys.no/hist/handle/URN:NBN:no-bibsys_brage_17112
- Klepper, G., & Peterson, S. M. (2004), "The EU emissions trading scheme. Allowance prices, trade flows, competitiveness effects", SSRN eLibrary, 14(4), 201-218, doi: DOI: 10.1002/eet.356
- Mansanet-Bataller, M., Pardo, A. & Valor, E. (2007), "CO₂ prices, energy and weather", Energy Journal, 28, 67-86
- Mansanet-Bataller, A. & Pardo, A. (2009), "Impacts of regulatory announcements on CO₂ prices", The Journal of Energy Markets, 2(2), Summer, 75–107
- Morris, J., Paltsev, S., & Reilly, J. (2012), "Marginal abatement costs and marginal welfare costs for greenhouse gas emissions reductions: Results from the EPPA model", Environmental Modeling & Assessment, 17(4), 325-336, doi: DOI 10.1007/s10666-011-9298-7
- Nelson, D. B. (1991), "Conditional heteroskedasticity in asset returns: a new approach", Econometrica, 59, 347-370
- NPC Global Oil, & Gas Study. (2008). "Carbon dioxide: A commodity market perspective". Working Document of the NPC Global Oil & Gas Study, http://downloadcenter.connectlive.com/events/npc071807/pdf-downloads/Study_Topic_Papers/37-Macro-Carbon-Dioxide.pdf
- Olivier, J. G. J., Janssens-Maenhout, G., Peters, J. A. H. W., & Wilson, J. (2011), "Long-term trend in global CO₂ emissions: PBL Netherlands Environmental Assessment Agency", http://edgar.jrc.ec.europa.eu/news_docs/CO2%20Mondiaal_%20webdef_19sept.pdf
- Prada, M. (2010), "The regulation of CO₂ markets". Comité droit financier de Paris EUROPLACE, <http://www.minefe.gouv.fr/services/rap10/101004prada-report.pdf>
- Ramseur, J. L., Leggett, J. A., & Sherlock, M. F. (2012), "Carbon tax: Deficit reduction and other considerations", Paper presented at the Congressional Research Service, <http://www.fas.org/sgp/crs/misc/R42731.pdf>
- Rittler, D. (2009), "Price discovery, causality and volatility spillovers in European Union allowances phase II: A high frequency analysis. department of economics", University of Heidelberg, Discussion Paper No. 492, <http://www.econis.eu/PPNSET?PPN=613870298>
- Rotfuß, W. (2009), "Intraday price formation and volatility in the European Emissions Trading Scheme: a First analysis", Working Paper, ZEW Mannheim. <http://ssrn.com/abstract=1424368> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1424368>
- Sanin, M. E., & Violante, F. (2009), "Understanding volatility dynamics in the EU-ETS market: lessons from the future", Core Discussion Paper 2009/24, April 2009, http://www.uclouvain.be/cps/ucl/doc/core/documents/coredp2009_24.pdf
- Svendsen, G. T., & Vesterdal, M. (1998), "CO₂ trade and market power in the EU electricity sector", Paper provided by University of Aarhus, Aarhus School of Business, Department of Economics, http://old-hha.asb.dk/nat/WPER/02-11_gts.pdf

Zakkour, P., Dixon, T., & Cook, G. (2011). "Financing early opportunity CCS projects in emerging economies through the carbon market: mitigation potential and costs". 10th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, 4, 5692-5699. doi: DOI 10.1016/j.egypro.2011.02.563

Anexos

Os anexos foram organizados conforme a ordem dos índices de modo a facilitar a consulta dos mesmos pelo leitor. Em primeiro lugar surgem as tabelas, posteriormente os gráficos e por último as ilustrações.

I. Tabelas:

Dependent Variable: DEUA				
Method: ML - ARCH (Marquardt) - Normal distribution				
Date: 10/02/12 Time: 12:25				
Sample: 3/09/2007 6/11/2012				
Included observations: 1277				
Convergence achieved after 45 iterations				
Variance backcast: ON				
GARCH = C(2) + C(3)*RESID(-1)^2 + C(4)*GARCH(-1)				
	Coefficien t	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	0.000271	0.000660	0.411218	0.6809
Variance Equation				
C	1.65E-05	2.31E-06	7.137874	0.0000
RESID(-1)^2	0.163365	0.021280	7.676756	0.0000
GARCH(-1)	0.848273	0.015962	53.14367	0.0000
R-squared	-0.000197	Mean dependent var	-0.000167	
Adjusted R-squared	-0.002554	S.D. dependent var	0.031231	
S.E. of regression	0.031271	Akaike info criterion	-4.417713	
Sum squared resid	1.244822	Schwarz criterion	-4.401574	
Log likelihood	2824.710	Durbin-Watson stat	1.929950	

Tabela 7: Estimação do modelo GARCH (1,1)

ARCH Test:

F-statistic	0.092434	Probability	0.761156
Obs*R-squared	0.092572	Probability	0.760933

Test Equation:

Dependent Variable: STD_RESID^2

Method: Least Squares

Date: 10/07/12 Time: 23:56

Sample (adjusted): 3/12/2007 6/11/2012

Included observations: 1276 after adjustments

Variable	Coefficient t	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	1.010391	0.138008	7.321259	0.0000
STD_RESID^2(-1)	-0.008518	0.028016	-0.304029	0.7612
R-squared	0.000073	Mean dependent var	1.001854	
Adjusted R-squared	-0.000712	S.D. dependent var	4.824969	
S.E. of regression	4.826687	Akaike info criterion	5.987764	
Sum squared resid	29680.26	Schwarz criterion	5.995838	
Log likelihood	-3818.193	F-statistic	0.092434	
Durbin-Watson stat	2.000188	Prob(F-statistic)	0.761156	

Tabela 8: ARCH Teste

Dependent Variable: DEUA
Method: ML - ARCH (Marquardt) - Normal distribution
Date: 10/02/12 Time: 12:26
Sample: 3/09/2007 6/11/2012
Included observations: 1277
Convergence achieved after 101 iterations
Variance backcast: ON

$$\text{LOG(GARCH)} = C(2) + C(3)*\text{ABS}(\text{RESID}(-1)/@SQRT(\text{GARCH}(-1))) + C(4)*\text{RESID}(-1)/@SQRT(\text{GARCH}(-1)) + C(5)*\text{LOG}(\text{GARCH}(-1))$$

	Coefficien t	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	-0.000356	0.000683	-0.521861	0.6018
Variance Equation				
C(2)	-0.248670	0.022420	-11.09151	0.0000
C(3)	0.202963	0.020746	9.783099	0.0000
C(4)	-0.047920	0.011523	-4.158564	0.0000
C(5)	0.985845	0.001431	689.0004	0.0000
R-squared	-0.000037	Mean dependent var	-0.000167	
Adjusted R-squared	-0.003181	S.D. dependent var	0.031231	
S.E. of regression	0.031281	Akaike info criterion	-4.439382	
Sum squared resid	1.244623	Schwarz criterion	-4.419208	
Log likelihood	2839.545	Durbin-Watson stat	1.930260	

Tabela 9: Estimação do modelo EGARCH (1,1)

Dependent Variable: DEUA				
Method: ML - ARCH (Marquardt) - Normal distribution				
Date: 10/02/12 Time: 12:34				
Sample: 3/09/2007 6/11/2012				
Included observations: 1277				
Convergence achieved after 90 iterations				
Variance backcast: ON				
$Q = C(2) + C(3)*(Q(-1) - C(2)) + C(4)*(RESID(-1)^2 - GARCH(-1))$ $GARCH = Q + C(5) * (RESID(-1)^2 - Q(-1)) + C(6)*(GARCH(-1) - Q(-1))$				
	Coefficien t	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	0.000816	0.000540	1.509951	0.1311
Variance Equation				
C(2)	0.027225	0.030083	0.905002	0.3655
C(3)	0.998969	0.001177	848.7968	0.0000
C(4)	0.199873	0.008471	23.59390	0.0000
C(5)	-0.179813	0.012069	-14.89872	0.0000
C(6)	0.715858	0.038024	18.82631	0.0000
R-squared	-0.000991	Mean dependent var	-0.000167	
Adjusted R-squared	-0.004929	S.D. dependent var	0.031231	
S.E. of regression	0.031308	Akaike info criterion	-4.436395	
Sum squared resid	1.245811	Schwarz criterion	-4.412187	
Log likelihood	2838.638	Durbin-Watson stat	1.928419	

Tabela 10: Estimação do modelo ARCH(1;1)

Dependent Variable: DEUA
 Method: ML - ARCH (Marquardt) - Normal distribution
 Date: 10/02/12 Time: 12:36
 Sample: 3/09/2007 6/11/2012
 Included observations: 1277
 Convergence achieved after 67 iterations
 Variance backcast: ON

$$\text{GARCH} = C(2) + C(3)*\text{RESID}(-1)^2 + C(4)*\text{GARCH}(-1) + C(5)*\text{DBRENT} + C(6)*\text{DCOAL} + C(7)*\text{DGN}$$

	Coefficien t	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	0.000518	0.000630	0.820896	0.4117
Variance Equation				
C	1.13E-05	2.64E-06	4.282661	0.0000
RESID(-1)^2	0.187040	0.023074	8.106090	0.0000
GARCH(-1)	0.837662	0.016489	50.80128	0.0000
DBRENT	-0.000229	0.000315	-0.727100	0.4672
DCOAL	2.76E-06	1.01E-05	0.273485	0.7845
DGN	0.000844	0.000138	6.129662	0.0000
R-squared	-0.000481	Mean dependent var	-0.000167	
Adjusted R-squared	-0.005208	S.D. dependent var	0.031231	
S.E. of regression	0.031312	Akaike info criterion	-4.430436	
Sum squared resid	1.245176	Schwarz criterion	-4.402193	
Log likelihood	2835.833	Durbin-Watson stat	1.929402	

Tabela 11: Preço das commodities como fatores explicativos

Dependent Variable: DEUA
Method: ML - ARCH (Marquardt) - Normal distribution
Date: 10/02/12 Time: 12:38
Sample: 3/09/2007 6/11/2012
Included observations: 1277
Convergence achieved after 15 iterations
Variance backcast: ON

$$\text{GARCH} = C(2) + C(3)*\text{RESID}(-1)^2 + C(4)*\text{GARCH}(-1) + C(5)*\text{GERMPUB} + C(6)*\text{NAPPHASEII} + C(7)*\text{NAPPHASEIII}$$

	Coefficien t	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	-0.002479	0.001774	-1.397396	0.1623
Variance Equation				
C	0.000887	4.04E-05	21.95340	0.0000
RESID(-1)^2	0.348009	0.089546	3.886360	0.0001
GARCH(-1)	0.434905	0.064298	6.763846	0.0000
GERMPUB	0.000178	0.000333	0.534288	0.5931
NAPPHASEII	-0.000621	0.000120	-5.170991	0.0000
NAPPHASEIII	-0.000599	0.000167	-3.591380	0.0003
R-squared	-0.005481	Mean dependent var	-0.000167	
Adjusted R-squared	-0.010231	S.D. dependent var	0.031231	
S.E. of regression	0.031390	Akaike info criterion	-3.984730	
Sum squared resid	1.251398	Schwarz criterion	-3.956487	
Log likelihood	2551.250	Durbin-Watson stat	1.919809	

Tabela 12: Anúncios como fatores explicativos

Dependent Variable: DEUA
 Method: ML - ARCH (Marquardt) - Normal distribution
 Date: 10/02/12 Time: 12:40
 Sample: 3/09/2007 6/11/2012
 Included observations: 1277
 Failure to improve Likelihood after 13 iterations
 Variance backcast: ON

$$\text{GARCH} = C(2) + C(3)*\text{RESID}(-1)^2 + C(4)*\text{GARCH}(-1) + C(5)*\text{TEMPCOLD} + C(6)*\text{TEMPHOT}$$

	Coefficien t	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	-0.000994	0.000608	-1.633056	0.1025
Variance Equation				
C	0.000301	8.12E-06	37.01951	0.0000
RESID(-1)^2	0.440190	0.043382	10.14692	0.0000
GARCH(-1)	0.585049	0.031775	18.41198	0.0000
TEMPCOLD	-0.000175	1.76E-05	-9.974254	0.0000
TEMPHOT	-0.000280	5.82E-06	-48.18608	0.0000
R-squared	-0.000700	Mean dependent var	-0.000167	
Adjusted R-squared	-0.004637	S.D. dependent var	0.031231	
S.E. of regression	0.031303	Akaike info criterion	-4.330677	
Sum squared resid	1.245449	Schwarz criterion	-4.306469	
Log likelihood	2771.137	Durbin-Watson stat	1.928980	

Tabela 13: Clima como fator explicativo

Dependent Variable: DEUA
Method: ML - ARCH (Marquardt) - Normal distribution
Date: 10/02/12 Time: 12:41
Sample: 3/09/2007 6/11/2012
Included observations: 1277
Convergence achieved after 141 iterations
Variance backcast: ON

$$\begin{aligned} \text{GARCH} = & C(2) + C(3)*\text{RESID}(-1)^2 + C(4)*\text{GARCH}(-1) + C(5) \\ & * \text{DBRENT} + C(6)*\text{DCOAL} + C(7)*\text{DGN} + C(8)*\text{GERMPUB} + C(9) \\ & * \text{NAPPHASEII} + C(10)*\text{NAPPHASEIII} + C(11)*\text{TEMPCOLD} + \\ & C(12)*\text{TEMPHOT} \end{aligned}$$

	Coefficien t	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	0.000452	0.000654	0.690736	0.4897
Variance Equation				
C	1.19E-05	5.72E-06	2.077449	0.0378
RESID(-1)^2	0.177956	0.023801	7.476952	0.0000
GARCH(-1)	0.840710	0.017149	49.02498	0.0000
DBRENT	2.22E-05	0.000401	0.055339	0.9559
DCOAL	4.13E-06	1.04E-05	0.397636	0.6909
DGN	0.000836	0.000177	4.712978	0.0000
GERMPUB	9.36E-05	4.48E-05	2.087511	0.0368
NAPPHASEII	-1.64E-05	2.61E-05	-0.630207	0.5286
NAPPHASEIII	-1.97E-05	2.17E-05	-0.906494	0.3647
TEMPCOLD	-9.16E-06	6.17E-06	-1.483374	0.1380
TEMPHOT	5.23E-06	7.87E-06	0.664130	0.5066
R-squared	-0.000393	Mean dependent var	-0.000167	
Adjusted R-squared	-0.009092	S.D. dependent var	0.031231	
S.E. of regression	0.031373	Akaike info criterion	-4.427197	
Sum squared resid	1.245066	Schwarz criterion	-4.378781	
Log likelihood	2838.765	Durbin-Watson stat	1.929572	

Tabela 14: GARCH com todas as variáveis explicativas

Dependent Variable: DEUA
 Method: ML - ARCH (Marquardt) - Normal distribution
 Date: 10/05/12 Time: 12:15
 Sample: 3/09/2007 12/31/2008
 Included observations: 466
 Convergence achieved after 11 iterations
 Variance backcast: ON

$$\text{GARCH} = C(2) + C(3)*\text{RESID}(-1)^2 + C(4)*\text{GARCH}(-1)$$

	Coefficien t	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	0.001169	0.001021	1.144933	0.2522
Variance Equation				
C	3.32E-05	1.36E-05	2.438358	0.0148
RESID(-1)^2	0.102530	0.032391	3.165447	0.0015
GARCH(-1)	0.837475	0.048985	17.09673	0.0000
R-squared	-0.002137	Mean dependent var	0.000106	
Adjusted R-squared	-0.008644	S.D. dependent var	0.023029	
S.E. of regression	0.023128	Akaike info criterion	-4.750906	
Sum squared resid	0.247134	Schwarz criterion	-4.715334	
Log likelihood	1110.961	Durbin-Watson stat	1.886700	

Tabela 15: Modelo GARCH (1,1) - Fase I

Dependent Variable: DEUA
Method: ML - ARCH (Marquardt) - Normal distribution
Date: 10/05/12 Time: 12:16
Sample: 3/09/2007 12/31/2008
Included observations: 466

Convergence not achieved after 500 iterations

Variance backcast: ON

$$\text{LOG(GARCH)} = C(2) + C(3)*\text{ABS}(\text{RESID}(-1)/@SQRT(\text{GARCH}(-1))) + C(4)*\text{RESID}(-1)/@SQRT(\text{GARCH}(-1)) + C(5)*\text{LOG}(\text{GARCH}(-1))$$

	Coefficien t	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	0.000858	0.001023	0.838481	0.4018
Variance Equation				
C(2)	-1.014305	0.384312	-2.639272	0.0083
C(3)	0.252327	0.073275	3.443553	0.0006
C(4)	-0.078919	0.030095	-2.622307	0.0087
C(5)	0.892479	0.045164	19.76073	0.0000
R-squared	-0.001069	Mean dependent var		0.000106
Adjusted R-squared	-0.009755	S.D. dependent var		0.023029
S.E. of regression	0.023141	Akaike info criterion		-4.760309
Sum squared resid	0.246870	Schwarz criterion		-4.715843
Log likelihood	1114.152	Durbin-Watson stat		1.888714

Tabela 16: EGARCH (1,1) - Fase I

ARCH Test:

F-statistic	1.341870	Probability	0.247302
Obs*R-squared	1.343772	Probability	0.246370

Test Equation:

Dependent Variable: STD_RESID^2

Method: Least Squares

Date: 10/05/12 Time: 12:21

Sample (adjusted): 3/12/2007 12/31/2008

Included observations: 465 after adjustments

Variable	Coefficient t	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	1.057401	0.095428	11.08067	0.0000
STD_RESID^2(-1)	-0.053761	0.046410	-1.158391	0.2473
R-squared	0.002890	Mean dependent var		1.003511
Adjusted R-squared	0.000736	S.D. dependent var		1.797359
S.E. of regression	1.796698	Akaike info criterion		4.014069
Sum squared resid	1494.621	Schwarz criterion		4.031885
Log likelihood	-931.2712	F-statistic		1.341870
Durbin-Watson stat	2.003734	Prob(F-statistic)		0.247302

Tabela 17: ARCH teste - Fase I

Dependent Variable: DEUA
Method: ML - ARCH (Marquardt) - Normal distribution
Date: 10/05/12 Time: 12:23
Sample: 3/09/2007 12/31/2008

Included observations: 466

Convergence achieved after 21 iterations

Variance backcast: ON

$$\text{GARCH} = C(2) + C(3)*\text{RESID}(-1)^2 + C(4)*\text{GARCH}(-1) + C(5)*\text{DBRENT} + C(6)*\text{DCOAL} + C(7)*\text{DGN}$$

	Coefficien t	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	0.000631	0.001019	0.619361	0.5357
Variance Equation				
C	4.54E-05	1.63E-05	2.780917	0.0054
RESID(-1)^2	0.089906	0.028401	3.165581	0.0015
GARCH(-1)	0.828693	0.046849	17.68842	0.0000
DBRENT	-0.001346	0.000780	-1.725722	0.0844
DCOAL	-0.000302	0.000412	-0.731722	0.4643
DGN	-0.000692	0.000297	-2.331616	0.0197
R-squared	-0.000521	Mean dependent var		0.000106
Adjusted R-squared	-0.013599	S.D. dependent var		0.023029
S.E. of regression	0.023185	Akaike info criterion		-4.757367
Sum squared resid	0.246735	Schwarz criterion		-4.695115
Log likelihood	1115.466	Durbin-Watson stat		1.889748

Tabela 18: Preço das commodities como fatores explicativos - Fase I

Dependent Variable: DEUA
Method: ML - ARCH (Marquardt) - Normal distribution
Date: 10/05/12 Time: 12:25
Sample: 3/09/2007 12/31/2008
Included observations: 466
Convergence achieved after 18 iterations
Variance backcast: ON

$$\text{GARCH} = C(2) + C(3)*\text{RESID}(-1)^2 + C(4)*\text{GARCH}(-1) + C(5)*\text{GERMPUB} + C(6)*\text{NAPPHASEII} + C(7)*\text{NAPPHASEIII}$$

	Coefficien t	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	0.001131	0.001034	1.093963	0.2740
Variance Equation				
C	3.35E-05	1.40E-05	2.393851	0.0167
RESID(-1)^2	0.101130	0.032343	3.126817	0.0018
GARCH(-1)	0.838105	0.049958	16.77609	0.0000
GERMPUB	8.89E-06	0.000120	0.073851	0.9411
NAPPHASEII	-2.12E-05	7.67E-05	-0.276768	0.7820
NAPPHASEIII	1.30E-05	8.15E-05	0.159389	0.8734
R-squared	-0.001986	Mean dependent var	0.000106	
Adjusted R-squared	-0.015084	S.D. dependent var	0.023029	
S.E. of regression	0.023202	Akaike info criterion	-4.738255	
Sum squared resid	0.247097	Schwarz criterion	-4.676003	
Log likelihood	1111.013	Durbin-Watson stat	1.886984	

Tabela 19: Anúncios como fatores explicativos - Fase I

Dependent Variable: DEUA
Method: ML - ARCH (Marquardt) - Normal distribution
Date: 10/05/12 Time: 12:26
Sample: 3/09/2007 12/31/2008

Included observations: 466

Convergence achieved after 55 iterations

Variance backcast: ON

$$\text{GARCH} = C(2) + C(3)*\text{RESID}(-1)^2 + C(4)*\text{GARCH}(-1) + C(5)*\text{TEMPCOLD} + C(6)*\text{TEMPHOT}$$

	Coefficien t	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	0.001157	0.000973	1.189188	0.2344
Variance Equation				
C	0.000120	5.03E-05	2.390732	0.0168
RESID(-1)^2	0.104844	0.032333	3.242624	0.0012
GARCH(-1)	0.848654	0.039350	21.56684	0.0000
TEMPCOLD	-0.000105	4.71E-05	-2.220952	0.0264
TEMPHOT	-7.71E-05	5.00E-05	-1.542752	0.1229
R-squared	-0.002087	Mean dependent var		0.000106
Adjusted R-squared	-0.012979	S.D. dependent var		0.023029
S.E. of regression	0.023178	Akaike info criterion		-4.760765
Sum squared resid	0.247121	Schwarz criterion		-4.707406
Log likelihood	1115.258	Durbin-Watson stat		1.886795

Tabela 20: Clima como fator explicativo - Fase I

Dependent Variable: DEUA
Method: ML - ARCH (Marquardt) - Normal distribution
Date: 10/05/12 Time: 12:27
Sample: 3/09/2007 12/31/2008
Included observations: 466
Convergence achieved after 52 iterations
Variance backcast: ON

$$\begin{aligned} \text{GARCH} = & C(2) + C(3)*\text{RESID}(-1)^2 + C(4)*\text{GARCH}(-1) + C(5) \\ & * \text{DBRENT} + C(6)*\text{DCOAL} + C(7)*\text{DGN} + C(8)*\text{GERMPUB} + C(9) \\ & * \text{NAPPHASEII} + C(10)*\text{NAPPHASEIII} + C(11)*\text{TEMPCOLD} + \\ & C(12)*\text{TEMPHOT} \end{aligned}$$

	Coefficien t	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	0.000493	0.000976	0.505279	0.6134
Variance Equation				
C	8.11E-05	5.11E-05	1.585542	0.1128
RESID(-1)^2	0.077784	0.026646	2.919220	0.0035
GARCH(-1)	0.863698	0.043076	20.05038	0.0000
DBRENT	-0.001451	0.000821	-1.768611	0.0770
DCOAL	-0.000274	0.000557	-0.492196	0.6226
DGN	-0.000472	0.000290	-1.629176	0.1033
GERMPUB	1.61E-05	9.78E-05	0.164390	0.8694
NAPPHASEII	0.000117	8.58E-05	1.359214	0.1741
NAPPHASEIII	-8.68E-05	5.20E-05	-1.669588	0.0950
TEMPCOLD	-6.27E-05	4.66E-05	-1.345573	0.1784
TEMPHOT	-2.99E-05	5.11E-05	-0.585775	0.5580
R-squared	-0.000283	Mean dependent var		0.000106
Adjusted R-squared	-0.024519	S.D. dependent var		0.023029
S.E. of regression	0.023310	Akaike info criterion		-4.755024
Sum squared resid	0.246677	Schwarz criterion		-4.648307
Log likelihood	1119.921	Durbin-Watson stat		1.890196

Tabela 21: GARCH com todas as variáveis explicativas - Fase I

Dependent Variable: DEUA
Method: ML - ARCH (Marquardt) - Normal distribution
Date: 10/05/12 Time: 14:31
Sample: 1/02/2009 6/11/2012
Included observations: 811
Convergence achieved after 82 iterations
Variance backcast: ON
GARCH = C(2) + C(3)*RESID(-1)^2 + C(4)*GARCH(-1)

	Coefficien t	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	-0.000503	0.000872	-0.576428	0.5643
Variance Equation				
C	1.61E-05	3.23E-06	4.972431	0.0000
RESID(-1)^2	0.216178	0.035968	6.010282	0.0000
GARCH(-1)	0.826404	0.023904	34.57185	0.0000
R-squared	-0.000026	Mean dependent var	-0.000324	
Adjusted R-squared	-0.003743	S.D. dependent var	0.035100	
S.E. of regression	0.035165	Akaike info criterion	-4.237199	
Sum squared resid	0.997941	Schwarz criterion	-4.214027	
Log likelihood	1722.184	Durbin-Watson stat	1.940045	

Tabela 22: GARCH (1,1) – Fase II

ARCH Test:

F-statistic	0.048142	Probability	0.826383
Obs*R-squared	0.048259	Probability	0.826122

Test Equation:

Dependent Variable: STD_RESID^2

Method: Least Squares

Date: 10/05/12 Time: 14:34

Sample (adjusted): 1/05/2009 6/11/2012

Included observations: 810 after adjustments

Variable	Coefficient t	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	1.008989	0.193141	5.224105	0.0000
STD_RESID^2(-1)	-0.007719	0.035178	-0.219413	0.8264
R-squared	0.000060	Mean dependent var	1.001264	
Adjusted R-squared	-0.001178	S.D. dependent var	5.401610	
S.E. of regression	5.404791	Akaike info criterion	6.214915	
Sum squared resid	23603.11	Schwarz criterion	6.226512	
Log likelihood	-2515.040	F-statistic	0.048142	
Durbin-Watson stat	2.000212	Prob(F-statistic)	0.826383	

Tabela 23: ARCH teste – Fase II

Dependent Variable: DEUA
Method: ML - ARCH (Marquardt) - Normal distribution
Date: 10/05/12 Time: 14:32
Sample: 1/02/2009 6/11/2012
Included observations: 811
Convergence achieved after 70 iterations
Variance backcast: ON

$$\text{LOG(GARCH)} = \text{C}(2) + \text{C}(3) * \text{ABS}(\text{RESID}(-1) / @\text{SQRT}(\text{GARCH}(-1))) + \text{C}(4) * \text{RESID}(-1) / @\text{SQRT}(\text{GARCH}(-1)) + \text{C}(5) * \text{LOG}(\text{GARCH}(-1))$$

	Coefficien t	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	-0.000609	0.000952	-0.639983	0.5222
Variance Equation				
C(2)	-0.217854	0.028810	-7.561850	0.0000
C(3)	0.200066	0.029399	6.805196	0.0000
C(4)	-0.061847	0.017786	-3.477198	0.0005
C(5)	0.989049	0.001605	616.3209	0.0000
R-squared	-0.000066	Mean dependent var	-0.000324	
Adjusted R-squared	-0.005029	S.D. dependent var	0.035100	
S.E. of regression	0.035188	Akaike info criterion	-4.267697	
Sum squared resid	0.997981	Schwarz criterion	-4.238732	
Log likelihood	1735.551	Durbin-Watson stat	1.939967	

Tabela 24: EGARCH

Dependent Variable: DEUA
 Method: ML - ARCH (Marquardt) - Normal distribution
 Date: 10/05/12 Time: 14:35
 Sample: 1/02/2009 6/11/2012
 Included observations: 811
 Convergence achieved after 8 iterations
 Variance backcast: ON

$$\text{GARCH} = C(2) + C(3)*\text{RESID}(-1)^2 + C(4)*\text{GARCH}(-1) + C(5)*\text{DBRENT} + C(6)*\text{DCOAL} + C(7)*\text{DGN}$$

	Coefficien t	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	-0.000324	0.004358	-0.074442	0.9407
Variance Equation				
C	0.001230	0.000793	1.552634	0.1205
RESID(-1)^2	0.150000	0.133417	1.124294	0.2609
GARCH(-1)	0.600000	0.253789	2.364170	0.0181
DBRENT	-3.87E-14	0.009578	-4.04E-12	1.0000
DCOAL	-3.39E-12	3.65E-14	-92.82387	0.0000
DGN	7.32E-14	0.003724	1.97E-11	1.0000
R-squared	-0.000000	Mean dependent var	-0.000324	
Adjusted R-squared	-0.007463	S.D. dependent var	0.035100	
S.E. of regression	0.035230	Akaike info criterion	-3.490542	
Sum squared resid	0.997915	Schwarz criterion	-3.449990	
Log likelihood	1422.415	Durbin-Watson stat	1.940095	

Tabela 25: Preço das commodities como fatores explicativos - Fase II

Dependent Variable: DEUA

Method: ML - ARCH (Marquardt) - Normal distribution

Date: 10/05/12 Time: 14:36

Sample: 1/02/2009 6/11/2012

Included observations: 811

Convergence achieved after 30 iterations

Variance backcast: ON

GARCH = C(2) + C(3)*RESID(-1)^2 + C(4)*GARCH(-1) + C(5)
*GERMPUB + C(6)*NAPPHASEII + C(7)*NAPPHASEIII

	Coefficien t	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	-0.003716	0.001024	-3.628641	0.0003
Variance Equation				
C	0.000953	7.79E-05	12.23123	0.0000
RESID(-1)^2	0.721842	0.040842	17.67419	0.0000
GARCH(-1)	-0.001953	0.000533	-3.664689	0.0002
GERMPUB	3.23E-07	0.000235	0.001372	0.9989
NAPPHASEII	-0.000451	0.000109	-4.134636	0.0000
NAPPHASEIII	-0.000484	0.000103	-4.683306	0.0000
R-squared	-0.009351	Mean dependent var	-0.000324	
Adjusted R-squared	-0.016883	S.D. dependent var	0.035100	
S.E. of regression	0.035395	Akaike info criterion	-4.047724	
Sum squared resid	1.007247	Schwarz criterion	-4.007172	
Log likelihood	1648.352	Durbin-Watson stat	1.922122	

Tabela 26: Anúncios como fatores explicativos - Fase II

Dependent Variable: DEUA
Method: ML - ARCH (Marquardt) - Normal distribution
Date: 10/05/12 Time: 14:36
Sample: 1/02/2009 6/11/2012
Included observations: 811
Convergence achieved after 93 iterations
Variance backcast: ON
GARCH = C(2) + C(3)*RESID(-1)^2 + C(4)*GARCH(-1) + C(5)
*TEMPCOLD + C(6)*TEMPHOT

	Coefficien t	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	-0.000250	0.000953	-0.262226	0.7931
Variance Equation				
C	2.53E-05	4.99E-06	5.077848	0.0000
RESID(-1)^2	0.224692	0.036809	6.104247	0.0000
GARCH(-1)	0.818835	0.024578	33.31615	0.0000
TEMPCOLD	-1.89E-05	9.24E-06	-2.041713	0.0412
TEMPHOT	-1.70E-05	8.38E-06	-2.029564	0.0424
R-squared	-0.000005	Mean dependent var	-0.000324	
Adjusted R-squared	-0.006216	S.D. dependent var	0.035100	
S.E. of regression	0.035209	Akaike info criterion	-4.235492	
Sum squared resid	0.997920	Schwarz criterion	-4.200733	
Log likelihood	1723.492	Durbin-Watson stat	1.940087	

Tabela 27: Clima como fator explicativo - Fase II

Dependent Variable: DEUA
Method: ML - ARCH (Marquardt) - Normal distribution
Date: 10/05/12 Time: 14:37
Sample: 1/02/2009 6/11/2012
Included observations: 811
Convergence achieved after 8 iterations
Variance backcast: ON

$$\begin{aligned} \text{GARCH} = & C(2) + C(3)*\text{RESID}(-1)^2 + C(4)*\text{GARCH}(-1) + C(5) \\ & * \text{DBRENT} + C(6)*\text{DCOAL} + C(7)*\text{DGN} + C(8)*\text{GERMPUB} + C(9) \\ & * \text{NAPPHASEII} + C(10)*\text{NAPPHASEIII} + C(11)*\text{TEMPCOLD} + \\ & C(12)*\text{TEMPHOT} \end{aligned}$$

	Coefficien t	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	-0.000324	0.004387	-0.073953	0.9410
Variance Equation				
C	0.001230	0.000822	1.496968	0.1344
RESID(-1)^2	0.150000	0.147355	1.017947	0.3087
GARCH(-1)	0.600000	0.256707	2.337298	0.0194
DBRENT	-1.02E-13	0.009607	-1.06E-11	1.0000
DCOAL	-3.39E-12	3.93E-14	-86.11548	0.0000
DGN	1.93E-13	0.003904	4.95E-11	1.0000
GERMPUB	-2.09E-12	0.000545	-3.83E-09	1.0000
NAPPHASEII	-6.40E-12	0.000736	-8.70E-09	1.0000
NAPPHASEIII	-8.36E-12	0.000629	-1.33E-08	1.0000
TEMPCOLD	-1.44E-11	0.000328	-4.40E-08	1.0000
TEMPHOT	-2.34E-11	0.000305	-7.68E-08	1.0000
R-squared	-0.000000	Mean dependent var	-0.000324	
Adjusted R-squared	-0.013767	S.D. dependent var	0.035100	
S.E. of regression	0.035341	Akaike info criterion	-3.478212	
Sum squared resid	0.997915	Schwarz criterion	-3.408693	
Log likelihood	1422.415	Durbin-Watson stat	1.940095	

Tabela 28: GARCH com todas as variáveis explicativas - Fase II

II. Gráficos:

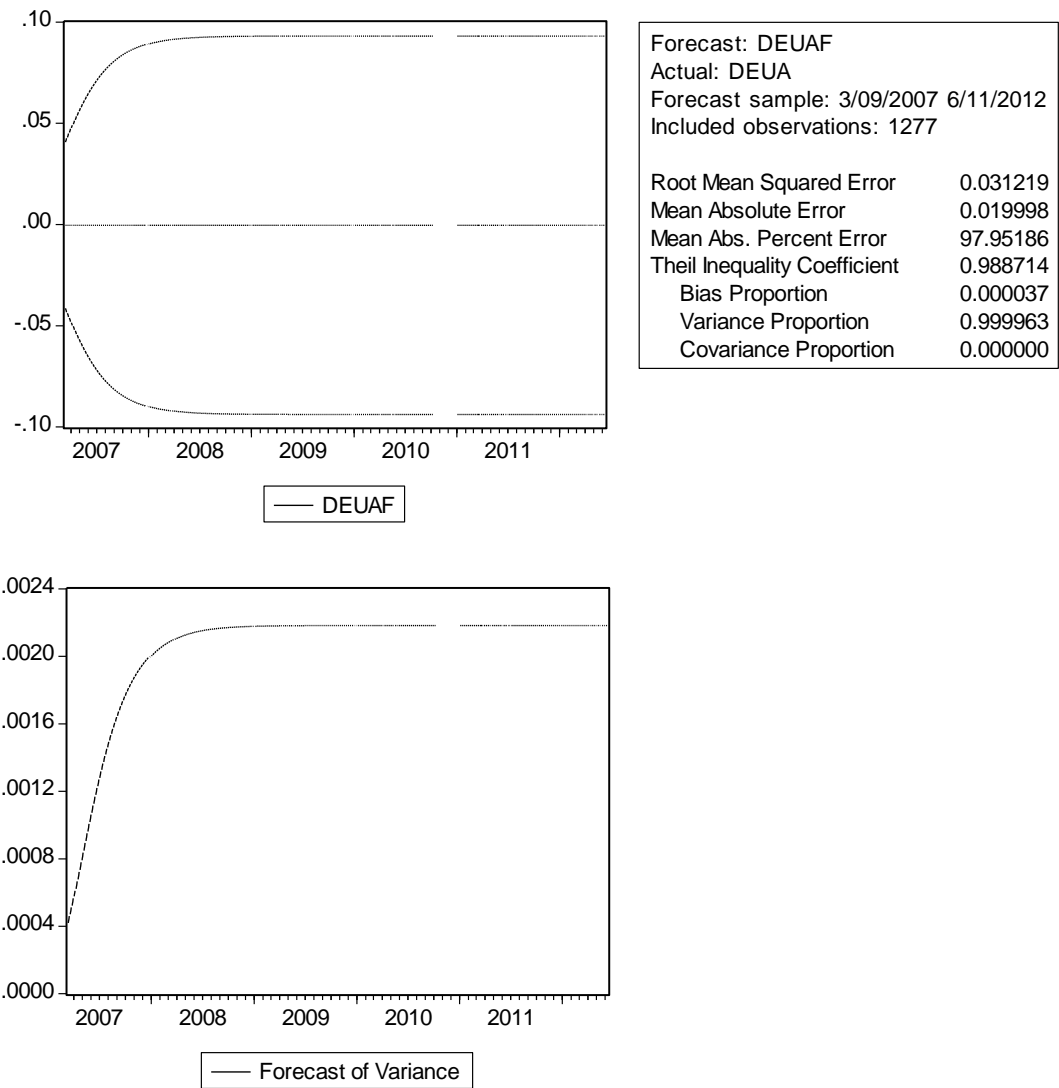
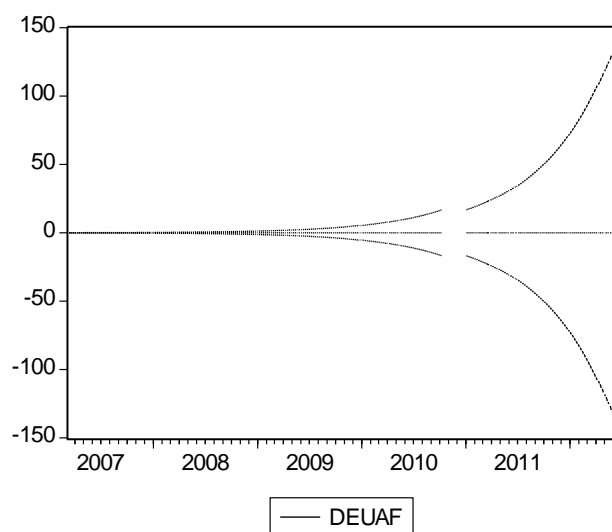


Gráfico 6: Forecast EGARCH (1,1)



Forecast: DEUAF
 Actual: DEUA
 Forecast sample: 3/09/2007 6/11/2012
 Included observations: 1277

Root Mean Squared Error	0.031222
Mean Absolute Error	0.019994
Mean Abs. Percent Error	97.69741
Theil Inequality Coefficient	0.991470
Bias Proportion	0.000197
Variance Proportion	0.999803
Covariance Proportion	-0.000000

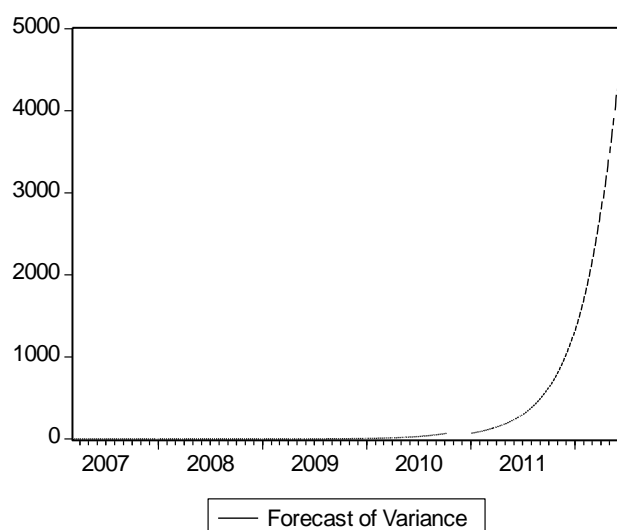
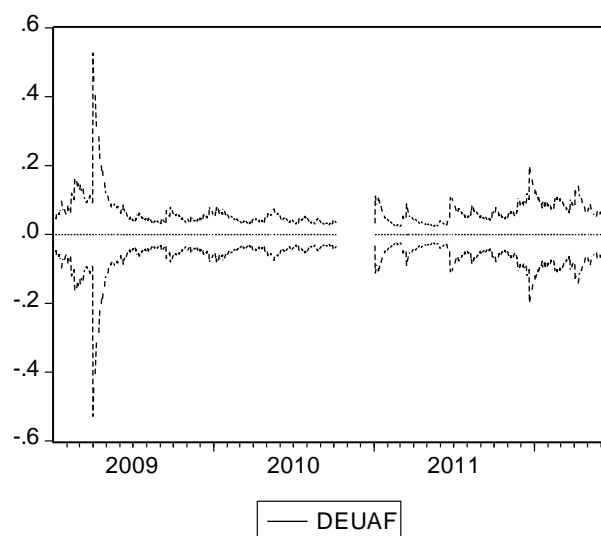


Gráfico 7: Forecast GARCH (1,1)



Forecast: DEUAF
 Actual: DEUA
 Forecast sample: 1/02/2009 6/11/2012
 Included observations: 811

Root Mean Squared Error	0.035079
Mean Absolute Error	0.021555
Mean Abs. Percent Error	98.18867
Theil Inequality Coefficient	0.985847
Bias Proportion	0.000026
Variance Proportion	0.999974
Covariance Proportion	0.000000

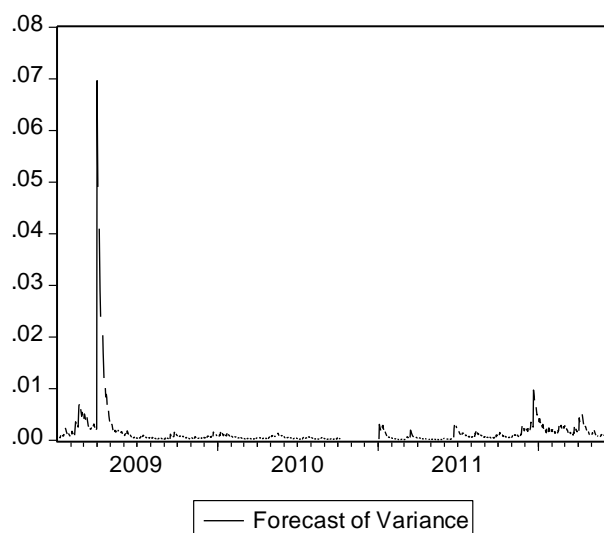


Gráfico 8: Forecast DEUA - Fase II

III. Ilustrações:

Date: 10/02/12 Time: 12:22
Sample: 3/09/2007 6/11/2012
Included observations: 1277

Autocorrelation			Partial Correlation			AC	PAC	Q-Stat	Prob	
						1	0.034	0.034	1.5093	0.219
						2	0.004	0.003	1.5268	0.466
						3	0.001	0.000	1.5274	0.676
	*			*		4	0.067	0.067	7.2730	0.122
						5	-0.042	-0.047	9.5098	0.090
	*			*		6	-0.067	-0.065	15.327	0.018
	*			*		7	0.077	0.084	23.046	0.002
						8	0.028	0.019	24.082	0.002
						9	-0.036	-0.034	25.731	0.002
						10	-0.012	-0.002	25.916	0.004
						11	-0.004	-0.019	25.935	0.007
						12	-0.022	-0.023	26.581	0.009
						13	0.002	0.022	26.588	0.014
	*					14	0.069	0.065	32.811	0.003
						15	-0.021	-0.036	33.401	0.004
						16	0.016	0.023	33.713	0.006
	*			*		17	0.075	0.076	41.049	0.001
						18	-0.026	-0.045	41.912	0.001
						19	-0.006	0.010	41.958	0.002
						20	0.035	0.043	43.577	0.002
						21	0.038	0.007	45.420	0.002
						22	-0.042	-0.033	47.695	0.001
						23	-0.027	-0.012	48.620	0.001
						24	0.055	0.035	52.502	0.001
						25	-0.010	-0.013	52.641	0.001
						26	0.031	0.055	53.898	0.001
						27	0.004	-0.003	53.920	0.002
						28	-0.021	-0.049	54.516	0.002
						29	0.026	0.049	55.403	0.002
	*			*		30	0.097	0.103	67.812	0.000
						31	0.040	0.014	69.928	0.000
						32	-0.028	-0.016	70.931	0.000
						33	0.052	0.047	74.529	0.000
				*		34	-0.050	-0.089	77.866	0.000
	*					35	-0.064	-0.045	83.235	0.000
	*			*		36	-0.099	-0.066	96.087	0.000

Ilustração 3: Correlograma da DEUA

Date: 10/02/12 Time: 12:28
Sample: 3/09/2007 6/11/2012
Included observations: 1277

Autocorrelation			Partial Correlation			AC	PAC	Q-Stat	Prob	
						1	0.047	0.047	2.8057	0.094
						2	0.005	0.003	2.8400	0.242
						3	0.023	0.023	3.5171	0.319
						4	0.064	0.062	8.7577	0.067
						5	-0.011	-0.017	8.9122	0.113
						6	-0.037	-0.037	10.706	0.098
						7	0.026	0.027	11.546	0.117
						8	0.011	0.006	11.703	0.165
						9	-0.033	-0.031	13.092	0.158
						10	0.009	0.015	13.189	0.213
						11	0.005	-0.000	13.224	0.279
						12	-0.018	-0.019	13.630	0.325
						13	-0.015	-0.008	13.916	0.380
						14	0.041	0.040	16.100	0.307
						15	0.007	0.001	16.163	0.371
						16	0.001	0.006	16.166	0.441
						17	0.040	0.039	18.199	0.376
						18	0.004	-0.008	18.224	0.441
						19	0.008	0.009	18.315	0.502
						20	0.018	0.020	18.731	0.539
						21	-0.002	-0.012	18.736	0.602
						22	-0.044	-0.045	21.251	0.505
						23	-0.004	0.004	21.274	0.564
						24	0.033	0.029	22.685	0.538
						25	-0.014	-0.015	22.934	0.581
						26	0.036	0.048	24.601	0.542
						27	0.028	0.022	25.615	0.540
						28	0.009	-0.003	25.715	0.589
						29	0.021	0.027	26.312	0.609
						30	0.064	0.060	31.622	0.385
						31	0.021	0.004	32.198	0.407
						32	-0.019	-0.017	32.649	0.435
						33	0.057	0.058	36.951	0.291
			*			34	-0.040	-0.063	39.019	0.254
						35	-0.051	-0.046	42.379	0.183
*			*			36	-0.088	-0.074	52.527	0.037

Ilustração 4: Q-statistic

Date: 10/02/12 Time: 12:30
Sample: 3/09/2007 6/11/2012
Included observations: 1277

Autocorrelation			Partial Correlation			AC	PAC	Q-Stat	Prob	
						1	-0.009	-0.009	0.0930	0.760
						2	-0.013	-0.013	0.3071	0.858
						3	-0.009	-0.009	0.4171	0.937
						4	-0.000	-0.001	0.4173	0.981
						5	-0.006	-0.007	0.4687	0.993
						6	-0.001	-0.001	0.4694	0.998
						7	0.008	0.008	0.5542	0.999
						8	-0.010	-0.010	0.6707	1.000
						9	-0.005	-0.005	0.7001	1.000
						10	-0.011	-0.011	0.8598	1.000
						11	-0.010	-0.011	0.9969	1.000
						12	-0.010	-0.011	1.1286	1.000
						13	-0.004	-0.005	1.1469	1.000
						14	-0.007	-0.008	1.2156	1.000
						15	-0.014	-0.014	1.4688	1.000
						16	-0.013	-0.013	1.6770	1.000
						17	-0.005	-0.006	1.7053	1.000
						18	-0.005	-0.006	1.7369	1.000
						19	-0.010	-0.010	1.8559	1.000
						20	-0.008	-0.009	1.9427	1.000
						21	0.004	0.003	1.9633	1.000
						22	-0.011	-0.012	2.1282	1.000
						23	-0.009	-0.010	2.2409	1.000
						24	-0.003	-0.004	2.2531	1.000
						25	-0.014	-0.016	2.5171	1.000
						26	-0.007	-0.009	2.5870	1.000
						27	-0.013	-0.015	2.8147	1.000
						28	-0.001	-0.003	2.8160	1.000
						29	0.011	0.009	2.9667	1.000
						30	0.019	0.017	3.4282	1.000
						31	-0.003	-0.004	3.4397	1.000
						32	-0.005	-0.006	3.4734	1.000
						33	-0.000	-0.001	3.4735	1.000
						34	-0.007	-0.008	3.5378	1.000
						35	0.024	0.023	4.3031	1.000
						36	0.028	0.027	5.3163	1.000

Ilustração 5: Correlograma do quadrado dos resíduos standardizados

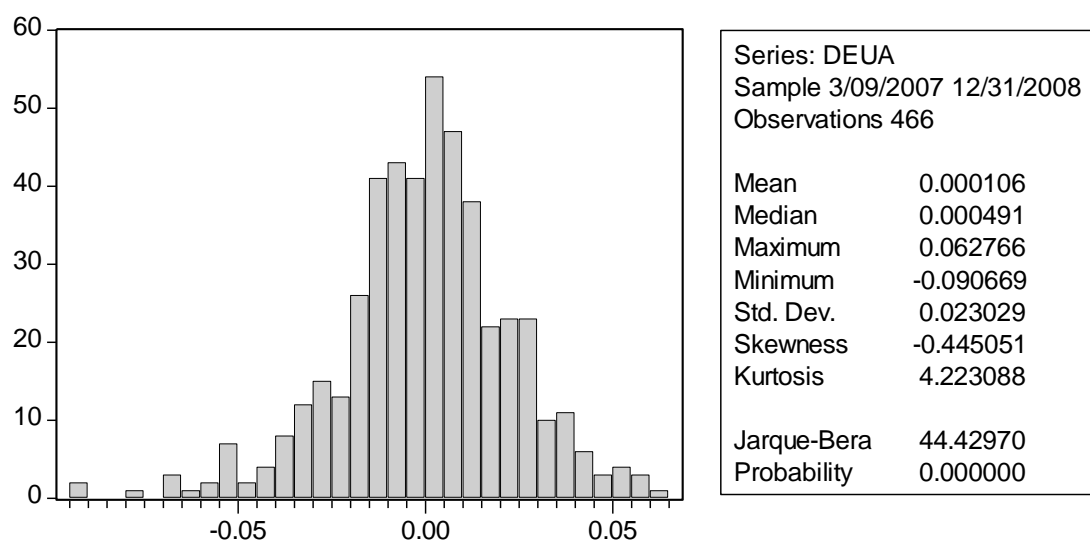


Ilustração 6: Histograma da série diferenciada - Fase I

Date: 10/05/12 Time: 12:18
Sample: 3/09/2007 12/31/2008
Included observations: 466

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
. .	. .	1 0.052	0.052	1.2741	0.259
. .	* .	2 -0.057	-0.059	2.7807	0.249
. .	. .	3 0.010	0.016	2.8266	0.419
. .	. .	4 0.050	0.046	4.0185	0.404
. .	. .	5 -0.018	-0.022	4.1724	0.525
. .	. .	6 0.016	0.024	4.2904	0.637
. .	. .	7 -0.016	-0.021	4.4051	0.732
. .	. .	8 0.042	0.045	5.2398	0.732
* .	* .	9 -0.070	-0.076	7.5464	0.580
. .	. *	10 0.061	0.074	9.3179	0.502
. .	. .	11 0.050	0.035	10.496	0.486
. .	. .	12 -0.039	-0.041	11.237	0.509
* .	* .	13 -0.084	-0.067	14.636	0.331
. *	. *	14 0.109	0.105	20.379	0.119
. *	. .	15 0.067	0.051	22.531	0.095
. .	. .	16 -0.029	-0.028	22.953	0.115
. .	. .	17 0.036	0.059	23.573	0.132
. *	. .	18 0.086	0.059	27.135	0.076
. *	. *	19 0.106	0.113	32.623	0.027
. .	. .	20 -0.022	-0.030	32.864	0.035
. .	. .	21 -0.046	-0.040	33.880	0.037
. .	. .	22 -0.021	-0.040	34.099	0.048
. .	. .	23 -0.011	0.003	34.154	0.063
. .	. .	24 0.016	0.022	34.278	0.080
. .	. .	25 0.009	-0.025	34.316	0.101
. .	. .	26 -0.007	0.004	34.338	0.127
. .	. .	27 0.004	0.022	34.346	0.156
. .	. .	28 -0.012	-0.014	34.420	0.187
. .	. .	29 0.059	0.031	36.177	0.168
. .	. .	30 0.018	0.016	36.331	0.197
. .	. .	31 0.024	0.046	36.629	0.224
. .	. .	32 0.016	0.014	36.760	0.258
. .	. .	33 0.040	0.010	37.566	0.268
. .	. .	34 0.003	-0.016	37.572	0.309
. .	. .	35 0.004	0.005	37.579	0.352
* .	* .	36 -0.111	-0.120	43.785	0.175

Ilustração 7: Correlograma da série diferenciada EUA - Fase I

Date: 10/05/12 Time: 12:20
Sample: 3/09/2007 12/31/2008
Included observations: 466

Autocorrelation		Partial Correlation		AC	PAC	Q-Stat	Prob	
. *		. *		1	0.077	0.077	2.7643	0.096
. .		. .		2	-0.040	-0.046	3.5156	0.172
. .		. .		3	0.008	0.015	3.5435	0.315
. .		. .		4	0.051	0.048	4.7818	0.310
. .		. .		5	-0.001	-0.008	4.7819	0.443
. .		. .		6	0.035	0.040	5.3510	0.500
. .		. .		7	-0.035	-0.043	5.9487	0.546
. .		. .		8	0.016	0.024	6.0748	0.639
. .		. .		9	-0.040	-0.047	6.8209	0.656
. .		. .		10	0.042	0.048	7.6558	0.662
. .		. .		11	0.033	0.026	8.1905	0.696
. .		. .		12	-0.046	-0.051	9.2065	0.685
* .		* .		13	-0.094	-0.078	13.453	0.413
. *		. *		14	0.096	0.100	17.898	0.211
. *		. .		15	0.068	0.049	20.125	0.167
. .		. .		16	-0.027	-0.031	20.469	0.200
. .		. *		17	0.047	0.067	21.534	0.203
. .		. .		18	0.064	0.046	23.550	0.170
. *		. *		19	0.098	0.098	28.224	0.079
. .		. .		20	-0.013	-0.036	28.300	0.102
. .		. .		21	-0.047	-0.043	29.363	0.106
. .		. .		22	-0.029	-0.033	29.781	0.124
. .		. .		23	-0.012	-0.009	29.847	0.154
. .		. .		24	0.015	0.021	29.964	0.186
. .		. .		25	0.016	-0.012	30.093	0.221
. .		. .		26	0.012	0.028	30.160	0.261
. .		. .		27	0.022	0.044	30.399	0.297
. .		. .		28	0.001	-0.004	30.399	0.344
. .		. .		29	0.058	0.037	32.052	0.318
. .		. .		30	0.027	0.027	32.409	0.349
. .		. .		31	0.041	0.056	33.260	0.358
. .		. .		32	0.018	0.013	33.417	0.398
. .		. .		33	0.034	0.004	34.001	0.419
. .		. .		34	0.010	-0.012	34.053	0.465
. .		. .		35	0.001	-0.003	34.054	0.514
* .		* .		36	-0.104	-0.115	39.537	0.315

Ilustração 8: Q-teste - Fase I

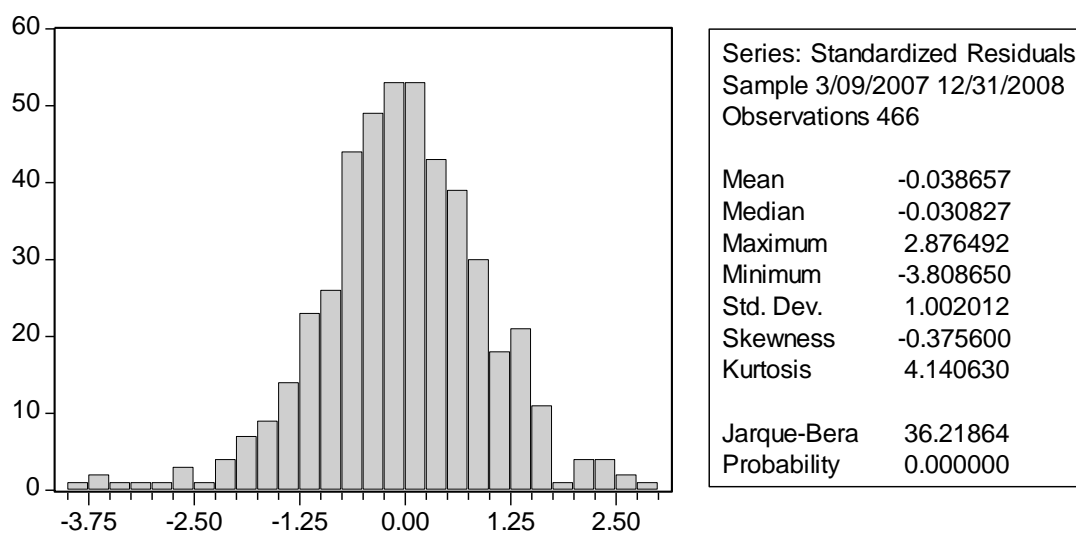


Ilustração 9: Histograma do modelo garch (1,1) - Fase I

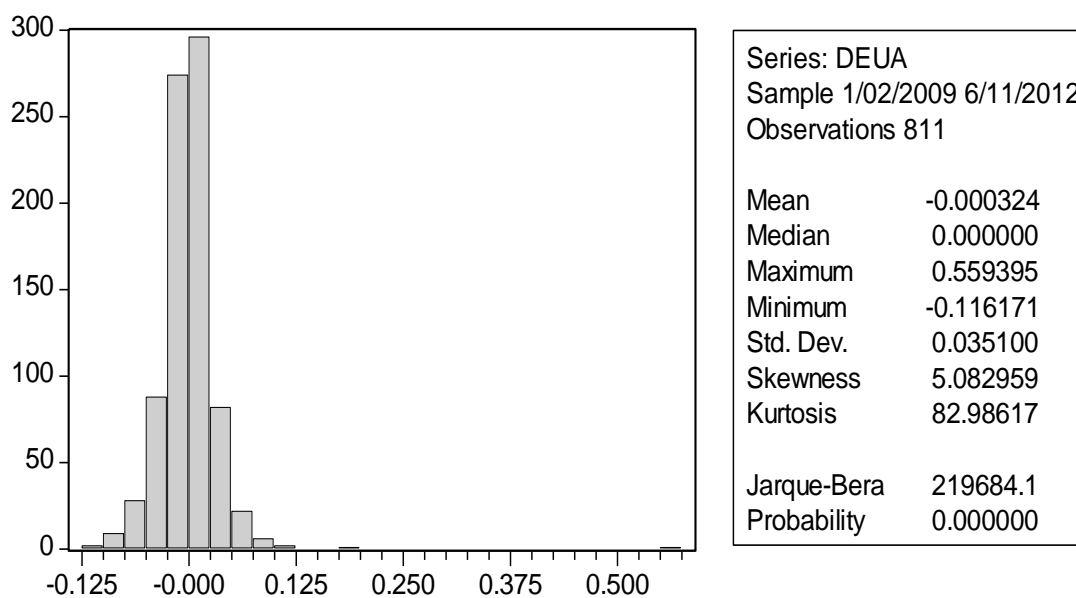


Ilustração 10: Histograma da série diferenciada - Fase II

Date: 10/05/12 Time: 14:30
Sample: 1/02/2009 6/11/2012
Included observations: 811

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
. .	. .	1 0.029	0.029	0.7071	0.400
. .	. .	2 0.019	0.018	1.0081	0.604
. .	. .	3 -0.002	-0.003	1.0101	0.799
. *	. *	4 0.070	0.070	4.9856	0.289
. .	. .	5 -0.049	-0.053	6.9345	0.226
* .	* .	6 -0.088	-0.088	13.300	0.039
. *	. *	7 0.101	0.111	21.680	0.003
. .	. .	8 0.025	0.017	22.208	0.005
. .	. .	9 -0.029	-0.030	22.889	0.006
. .	. .	10 -0.033	-0.021	23.775	0.008
. .	. .	11 -0.015	-0.036	23.960	0.013
. .	. .	12 -0.017	-0.015	24.189	0.019
. .	. .	13 0.022	0.052	24.606	0.026
. .	. .	14 0.060	0.054	27.623	0.016
. .	. .	15 -0.038	-0.056	28.840	0.017
. .	. .	16 0.028	0.030	29.500	0.021
. *	. *	17 0.089	0.090	36.018	0.005
. .	* .	18 -0.044	-0.058	37.630	0.004
. .	. .	19 -0.030	-0.010	38.373	0.005
. .	. .	20 0.054	0.058	40.802	0.004
. .	. .	21 0.061	0.022	43.858	0.002
. .	. .	22 -0.041	-0.023	45.285	0.002
. .	. .	23 -0.028	-0.010	45.925	0.003
. .	. .	24 0.059	0.027	48.827	0.002
. .	. .	25 -0.014	-0.015	48.994	0.003
. .	. *	26 0.038	0.073	50.231	0.003
. .	. .	27 -0.001	-0.007	50.232	0.004
. .	* .	28 -0.032	-0.070	51.092	0.005
. .	. .	29 0.002	0.025	51.096	0.007
. *	. *	30 0.113	0.126	61.946	0.001
. .	. .	31 0.041	0.019	63.333	0.001
. .	. .	32 -0.042	-0.028	64.822	0.001
. .	. .	33 0.054	0.039	67.309	0.000
* .	* .	34 -0.058	-0.110	70.208	0.000
* .	. .	35 -0.079	-0.051	75.513	0.000
* .	. .	36 -0.094	-0.034	83.091	0.000

Ilustração 11: Correlograma da serie diferenciada – Fase II

Date: 10/05/12 Time: 14:33
Sample: 1/02/2009 6/11/2012
Included observations: 811

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
. .	. .	1 0.026	0.026	0.5433	0.461
. .	. .	2 0.026	0.025	1.0889	0.580
. .	. .	3 0.027	0.026	1.6873	0.640
. .	. .	4 0.063	0.061	4.9473	0.293
. .	. .	5 -0.020	-0.024	5.2742	0.383
* .	* .	6 -0.072	-0.075	9.5069	0.147
. .	. .	7 0.053	0.054	11.770	0.108
. .	. .	8 0.011	0.009	11.868	0.157
. .	. .	9 -0.037	-0.035	12.993	0.163
. .	. .	10 -0.005	0.003	13.010	0.223
. .	. .	11 -0.003	-0.012	13.019	0.292
. .	. .	12 -0.001	-0.003	13.020	0.368
. .	. .	13 0.021	0.035	13.390	0.418
. .	. .	14 0.020	0.017	13.730	0.470
. .	. .	15 -0.012	-0.021	13.851	0.537
. .	. .	16 0.016	0.019	14.068	0.594
. .	. .	17 0.035	0.032	15.113	0.587
. .	. .	18 -0.008	-0.013	15.168	0.650
. .	. .	19 -0.029	-0.025	15.885	0.665
. .	. .	20 0.036	0.034	16.976	0.655
. .	. .	21 0.019	0.011	17.292	0.693
. .	. .	22 -0.047	-0.041	19.138	0.637
. .	. .	23 0.002	0.010	19.142	0.693
. .	. .	24 0.037	0.028	20.288	0.680
. .	. .	25 -0.029	-0.033	20.972	0.694
. .	. .	26 0.041	0.059	22.419	0.666
. .	. .	27 0.019	0.012	22.711	0.700
. .	. .	28 0.002	-0.016	22.716	0.747
. .	. .	29 -0.015	-0.005	22.901	0.781
. *	. *	30 0.073	0.073	27.416	0.601
. .	. .	31 0.003	-0.013	27.426	0.651
. .	. .	32 -0.041	-0.033	28.865	0.626
. .	. .	33 0.061	0.063	31.984	0.518
* .	* .	34 -0.063	-0.087	35.394	0.402
* .	* .	35 -0.079	-0.072	40.634	0.236
* .	* .	36 -0.088	-0.060	47.284	0.099

Ilustração 12: Q-teste – Fase II

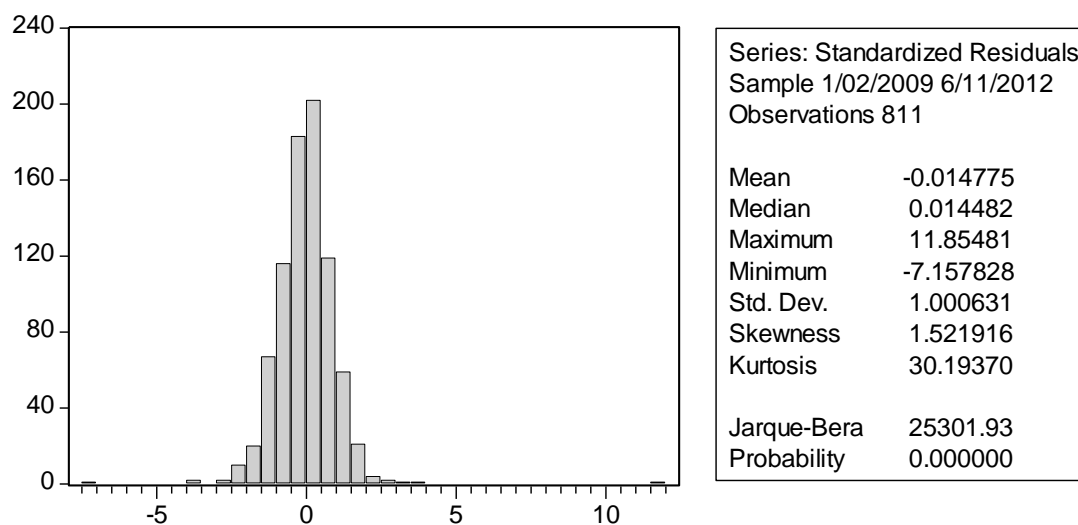


Ilustração 13: Histograma do modelo GARCH (1,1) – Fase II